



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN
TRANSFORMADOR RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE
13.8 KV PARA EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA**

Eduardo Sipaque Medrano

Asesorado por el Ing. Marvin Marino Hernández Fernández

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN
TRANSFORMADOR RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE
13.8 KV PARA EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDUARDO SIPAQUE MEDRANO

ASESORADO POR EL ING. MARVIN MARINO HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Water Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN TRANSFORMADOR RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 13.8 KV PARA EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha marzo de 2009



Eduardo Sipaque Medrano

QUIMOALCALI, S.A.

25 Avenida 7-44 zona 4 de Mixco Bosques de San Nicolás
Tels. (502) 2434.3391 / 3720 / 3575 Fax: (502) 2434.3730
Guatemala, Guatemala C.A

Guatemala, mayo 12 de 2009

Ingeniero
Natanael Jonathan Requena Gómez
ASESOR-SUPERVISOR DE EPS
Area de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Estimado Ingeniero Requena:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que se le ha aprobado al estudiante Universitario EDUARDO SIPAQUE MEDRANO, quien se identifica con el carné No. 1984-1772, el tema de EPS, que será realizado en la Empresa Quimoalcali denominado "Instalación de subestación para suministro de energía eléctrica a un transformador rectificador por medio de una línea de transmisión de 13.2 Kv para el proceso de electrolisis en una planta de cloro-soda.

Sin otro particular me suscribo.

Atentamente.

(f.)


Ing. Marvin Hernández
Jefe del Departamento de Ingeniería

Marvin Marino Hernández Fernández
INGENIERO ELECTRICISTA
COL. ACTIVO No. 3331

cc. archivo

Planta: Kilómetro 98 Autopista a Puerto Quetzal, Parcelamiento Santa Isabel Lote 71,
Puerto de San José, Escuintla, Guatemala C.A.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 28 de mayo de 2013.
Ref.EPS.DOC.613.05.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Eduardo Sipaque Medrano** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con carné No. **198417772**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN TRANSFORMADOR RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 13.8 KV PARA EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA”**.

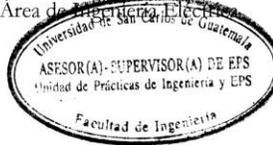
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
NJRG/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala 28 de mayo de 2013.
Ref.EPS.D.403.05.13.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN TRANSFORMADOR RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 13.8 KV PARA EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Eduardo Sipaque Medrano**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Marvin Marino Hernández Fernández y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"



SACdL./ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 24. 2013
Guatemala, 6 de JULIO 2012.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
“INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA A UN TRANSFORMADOR
RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE
TRANSMISIÓN DE 13.8 KV PARA EL PROCESO DE
ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA”, del
estudiante Eduardo Sipaque Medrano que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia



SRO

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.495-2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **INSTALACIÓN DE SUBESTACIÓN PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A UN TRANSFORMADOR RECTIFICADOR POR MEDIO DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 13.8 KV PARA EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS EN UNA PLANTA DE CLORO-SODA**, presentado por el estudiante universitario: **Eduardo Sipaque Medrano**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, julio de 2013



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por concederme la vida, otorgarme muchas bendiciones y darme un espíritu de fortaleza.
Mis padres	Enrique Sipaque Sil (q.e.p.d.) y María Magdalena Medrano Rodríguez (q.e.p.d.) en su memoria con mucho amor y gratitud.
Mi esposa	Mayra Patricia Zil Roca, por su apoyo incondicional, amor y comprensión.
Mis hijos	Eduardo Esteban, Rita María Patricia y Gabriel Eduardo Enrique Sipaque, por ser el motivo de mi vida.
Mis hermanos	Humberto, Angelina (q.e.p.d.), Carlos Enrique y MarioRaúlSipaque, por sus consejos y apoyo a lo largo de la carrera.
Mis amigos	Por todos los momentos compartidos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme alcanzar esta meta profesional.

**Ing. Marvin Marino
Hernández**

Por su ayuda y el tiempo brindado para
asesorar el presente trabajo.

**Ing. Natanael Jonathan
Requena**

Por su ayuda y palabras de aliento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XXI
LISTA DE SÍMBOLOS	XXVII
GLOSARIO	XXIX
RESUMEN	XXXIII
OBJETIVOS	XXXV
INTRODUCCIÓN	XXXVII
1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	1
1.1. Reseña histórica	1
1.2. Organigrama de la empresa	2
1.3. Misión de la empresa	5
1.4. Visión de la empresa	5
1.5. Valores	5
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	7
2.1. Subestación eléctrica de 10 MVA, 69/13.8 kv	7
2.1.1. Equipos de la subestación eléctrica	7
2.1.1.1. Transformador de potencia	7
2.1.1.1.1. Transformador trifásico de potencia	8
2.1.1.1.2. Capacidad nominal	9
2.1.1.1.3. Tipo de servicio	9

	2.1.1.1.4.	Grupo de conexión	9
	2.1.1.1.5.	Sistemas de enfriamiento	10
	2.1.1.1.6.	Cambiador de derivaciones	11
	2.1.1.1.7.	Accesorios y componentes	12
2.1.1.2.		Interruptores	14
	2.1.1.2.1.	Tipos de interruptores	15
	2.1.1.2.2.	Interruptor de hexafluoruro de azufre (SF6)	16
	2.1.1.2.3.	Valores nominales de voltaje, frecuencia y corriente	16
	2.1.1.2.4.	Condiciones normales de servicio	18
	2.1.1.2.5.	Capacidad interruptiva	18
	2.1.1.2.6.	Criterios para la selección y aplicación	18
2.1.1.3.		Apartarrayos	19

	2.1.1.3.1.	Funciones de los apartarrayos	19
	2.1.1.3.2.	Tipos de apartarrayos	20
2.1.1.4.		Transformadores de potencial	22
	2.1.1.4.1.	Parámetros de los transformadores de potencial	23
2.1.1.5.		Transformadores de corriente..	24
	2.1.1.5.1.	Parámetros de los transformadores de corriente	25
2.1.1.6.		Dispositivos de potencial	28
	2.1.1.6.1.	Parámetros de los transformadores capacitivos	29
2.1.1.7.		Seccionadores	29
2.1.1.8.		Interruptor <i>recloser</i>	32
	2.1.1.8.1.	Características del <i>recloser</i>	32
2.1.1.9.		Reguladores de voltaje	35
2.1.1.10.		Fusibles	37
	2.1.1.10.1.	Tipos de fusibles.	37
2.1.1.11.		Banco de tierra	40
2.1.1.12.		Banco de capacitores	41
2.1.1.13.		Relevadores de protección	42

2.1.1.13.1.	Las causas de fallas	43
2.1.1.13.2.	El propósito de los relevadores de protección	44
2.1.1.13.3.	Tipos básicos de relevadores de protección	44
2.1.1.14.	Red de tierra	46
2.1.1.14.1.	Sistemas básicos de las redes de tierra	47
2.1.1.15.	Baterías	48
2.1.1.15.1.	Tipos de baterías	48
2.1.1.16.	Cargadores de batería	49
2.1.1.17.	Reactores	50
2.1.1.18.	Descargadores	51
2.1.1.18.1.	Tipos de descargadores	51
2.2.	Subestaciones eléctricas secundarias 225, 500, 750 y 1000 kva, 13.8 kv/480 voltios	52
2.2.1.	Subestaciones eléctricas instaladas en el exterior	52
2.2.1.1.	La subestación	53
2.2.1.2.	Subestaciones en exteriores	54
2.2.1.2.1.	Subestaciones con gabinete	54
2.2.1.2.2.	Subestaciones sin gabinete	55

2.2.2.	Transformador tipo subestación trifásico	55
		56
2.2.2.1.	Transformador trifásico	57
2.2.2.2.	Características para instalación	
2.2.2.3.	Pruebas básicas al transformador	58
	2.2.2.3.1. Resistencia de aislamiento (Megger)	58
	2.2.2.3.2. Relación de transformación	58
	2.2.2.3.3. Rigidez dieléctrica del aceite	59
		59
2.2.3.	Conexión del transformador	59
2.2.3.1.	Conexión delta – delta	60
2.2.3.2.	Conexión delta – estrella	60
2.2.3.3.	Conexión estrella – estrella	61
2.2.3.4.	Conexión estrella – delta	
2.2.4.	Acometida eléctrica en media tensión en 13.8 kv	61
		61
2.2.4.1.	Montaje de poste	63
2.2.4.2.	Cables primarios	
2.2.4.3.	Bajada aérea primaria de tres fases	64
		65
2.2.5.	Tableros de distribución	66
2.2.5.1.	Sistema de instalación	
2.2.5.2.	Tipos de tableros de distribución	67
		68

2.2.5.3.	Definiciones de cables	68
2.2.5.4.	Identificación de conductores	69
2.2.5.5.	Distribución e instalación	69
2.2.6.	Red de tierra	70
2.2.6.1.	Definiciones	
2.2.6.1.1.	Circuito de retorno a tierra	71 71
2.2.6.1.2.	Tierra	71
2.2.6.1.3.	Aterrizado	
2.2.6.1.4.	Corriente de tierra	71
2.2.6.1.5.	Corriente de falla a tierra simétrica inicial	71
2.2.6.1.6.	Factor de decremento (Df)	72
2.2.6.1.7.	Corriente de falla asimétrica efectiva (If)	72
2.2.6.2.	Disposiciones básicas de las redes de tierra	72 73
2.2.7.	Recurso energético	
2.2.7.1.	Eficientización del factor de potencia	73 74
2.2.7.2.	Factor de potencia	
2.2.7.3.	Principios para mejorar el factor de potencia	75 77
2.2.7.3.1.	Capacitores fijos	

	2.2.7.3.2.	Banco de capacitores automáticos	77
2.3.		Línea de distribución eléctrica en 13.8 kv	78
	2.3.1.	Conceptos generales	79
	2.3.1.1.	Definición de distribución	79
	2.3.1.2.	Función de la distribución	79
	2.3.1.3.	Distribución aérea y subterránea	79
	2.3.1.4.	Automatización de los sistemas de distribución	80
	2.3.1.5.	Clasificación de los sistemas de distribución	80
	2.3.1.6.	Aplicación de los sistemas de distribución	81
	2.3.1.7.	Sistemas de subtransmisión	81
	2.3.1.8.	Protección contra sobrecorrientes	82
	2.3.1.9.	Protección contra sobrevoltajes	83
	2.3.1.10.	Transformadores de distribución	84
	2.3.1.11.	Distribución secundaria radial	85
	2.3.2.	Postes y cruceros	86
	2.3.2.1.	Construcción aérea	86
	2.3.2.2.	Postes de madera	87
	2.3.2.2.1.	Características técnicas de los postes de madera	87

	2.3.2.2.2.	Forma de los postes	88
	2.3.2.2.3.	Resistencia mecánica de los postes de madera	89
	2.3.2.2.4.	Tratamiento para postes de madera	91
	2.3.2.3.	Postes de concreto	92
	2.3.2.3.1.	Aplicación de los postes de concreto	93
	2.3.2.3.2.	Clasificación de los postes según su función	94
	2.3.2.4.	Cruceros	96
2.3.3.		Estructura de líneas eléctricas en postes	98
	2.3.3.1.	Ubicación de los postes	98
	2.3.3.2.	Selección de los postes	99
	2.3.3.3.	Colocación de contravientos	99
	2.3.3.4.	Cables para contravientos	102
2.3.4.		Conductores en líneas de distribución eléctrica	102
	2.3.4.1.	Características de los materiales conductores	103
	2.3.4.1.1.	Límite elástico y módulo de elasticidad	103

	2.3.4.1.2.	Coeficiente de temperatura	104
	2.3.4.1.3.	Tamaño de conductores	105
	2.3.4.1.4.	Materiales para fabricación de conductores	105
2.3.4.2.		Líneas eléctricas con cable desnudo	107
	2.3.4.2.1.	Flecha de conductores	107
	2.3.4.2.2.	Determinación de la flecha de los conductores	107
	2.3.4.2.3.	Retenida y anclas	109
	2.3.4.2.4.	Tipos de retenidas	110
	2.3.4.2.5.	Anclas	110
	2.3.4.2.6.	Tipos de anclas	111
	2.3.4.2.7.	Esfuerzos sobre postes	111
2.3.4.3.		Aisladores en líneas de distribución eléctrica	114
	2.3.4.3.1.	Conceptos sobre los aisladores	115

	2.3.4.3.2.	Materiales utilizados en la fabricación de isladores	116
	2.3.4.3.3.	Tipos de aisladores utilizados en líneas de distribución	117
2.3.4.4.		Accesorios y Herrajes	119
	2.3.4.4.1.	Grapas de suspensión y remate	119
	2.3.4.4.2.	Alambres de amarre	120
	2.3.4.4.3.	Amortiguadores	121
	2.3.4.4.4.	Varillas preformadas	122
	2.3.4.4.5.	Ancla expansiva	122
2.3.4.5.		Equipo de protección	123
	2.3.4.5.1.	Corta circuitos	123
	2.3.4.5.2.	Pararrayos	125
2.3.4.6.		Herramienta utilizada	129
	2.3.4.6.1.	Escalera de fibra de vidrio	129
	2.3.4.6.2.	Pértiga	130
	2.3.4.6.3.	Mica	131
	2.3.4.6.4.	Caimanete manual	131

	2.3.4.6.5.	Caimanete hidráulico	132
	2.3.4.6.6.	Máquina band-it o flejadora	133
	2.3.4.6.7.	Cincho de herramientas	134
2.4.		Instalación eléctrica de transformador rectificador de 6.2 MVA	134
	2.4.1.	Descripción del transformador rectificador	135
	2.4.1.1.	Información del transformador rectificador	135
	2.4.2.	Características del transformador rectificador	139
	2.4.2.1.	Antecedentes técnicos	139
	2.4.2.1.1.	Diagrama eléctrico del transformador rectificador	141
	2.4.2.2.	Equipos auxiliares y accesorios del transformador	142
	2.4.2.2.1.	Indicador nivel del aceite	142
	2.4.2.2.2.	Indicador de temperatura del devanado	142
	2.4.2.2.3.	Indicador de temperatura del aceite	142

	2.4.2.2.4.	Tanque conservador del aceite	143
	2.4.2.2.5.	Respiradero deshidratante	143
	2.4.2.2.6.	Sistema de enfriamiento	144
	2.4.2.2.7.	Boquillas	144
	2.4.2.2.8.	Válvulas	144
	2.4.2.2.9.	Tablero	144
	2.4.2.2.10.	Ruedas de collar	144
	2.4.2.2.11.	Conectores de tierra	145
	2.4.2.2.12.	Placa de características	145
2.4.3.		Conceptos generales sobre rectificadores	145
	2.4.3.1.	Teoría elemental del rectificador	146
	2.4.3.2.	Resistencia directa y resistencia inversa en el rectificador	148
	2.4.3.3.	Relaciones entre tensiones y corrientes en los rectificadores	149
	2.4.3.4.	Rendimiento de un rectificador	151
	2.4.3.5.	Comportamiento con carga de un rectificador	153
	2.4.3.6.	Conexión en serie y paralelo de los elementos de los rectificadores	158

2.4.3.7.	Potencia de disipación de rectificadores	162
2.4.4.	Rectificadores trifásicos de onda completa.	163
2.4.4.1.	Rectificador trifásico de media onda	164
2.4.4.2.	Rectificador trifásico de onda completa	167
2.4.5.	Estabilización y filtrado de rectificadores	172
2.4.5.1.	Filtrado de rectificadores	172
2.4.5.1.1.	El condensador como filtro	172
2.4.5.1.2.	Filtro de corriente rectificadas	175
2.4.5.1.3.	Filtrado de los Armónicos	176
2.4.5.2.	Estabilización	178
2.4.5.2.1.	Factores esenciales para la estabilización	178
2.4.6.	Rectificadores con diodos	181
2.4.6.1.	Rectificador de óxido de cobre	181
2.4.6.2.	Rectificador de selenio	182
2.4.6.3.	Rectificador de silicio	184
2.4.7.	Sistemas de refrigeración y protección de rectificadores	185
2.4.7.1.	Refrigeración de diodos de silicio mediante circulación natural de aire	185

2.4.7.2.	Refrigeración por conducción forzada de aire	186
2.4.7.3.	Refrigeración por líquido	188
2.4.7.4.	Protección de diodos por medio de fusibles	188
2.4.7.5.	Protección por corta circuitador	190
2.5.	Instalación eléctrica de área de celdas para electrólisis	191
2.5.1.	Conceptos generales	192
2.5.1.1.	Definición de electrólisis	192
2.5.1.2.	Características	193
2.5.1.2.1.	Información de membranas para electrólisis	194
2.5.1.2.2.	Vida de las membranas	196
2.5.1.2.3.	Efecto de la vida de membranas x producción	197
2.5.1.3.	Reacciones químicas	197
2.5.1.3.1.	Celda de electrólisis	197
2.5.1.4.	Definiciones eléctricas	200
2.5.1.4.1.	Ley de Faraday	200
2.5.1.4.2.	El coulómetro	201
2.5.1.4.3.	Equivalentes electroquímicos	201

	2.5.1.4.4.	Eficiencia de corriente	202
	2.5.1.4.5.	Densidad de corriente	202
	2.5.1.4.6.	Distribución de la corriente	203
	2.5.1.4.7.	Celdas electroquímicas	203
	2.5.1.4.8.	Coeficiente de temperatura de las reacciones de la celda	206
2.5.2.		Electrolizadores	206
	2.5.2.1.	Definiciones	207
	2.5.2.2.	Tipos de electrolizadores	209
	2.5.2.2.1.	Configuración monopolar de electrolizadores	209
	2.5.2.2.2.	Configuración bipolar de electrolizadores	210
	2.5.2.3.	Características de las celdas..	211
2.5.3.		Área de celdas	212
	2.5.3.1.	Instalación de equipos auxiliares	212
	2.5.3.1.1.	Desconectadores con carga (<i>switchgear</i>)	212

	2.5.3.1.2.	Bombas centrífugas	215
	2.5.3.1.3.	Compresores	217
	2.5.3.1.4.	Intercambiadores de calor	219
	2.5.3.2.	Barras electrolíticas	223
	2.5.3.2.1.	Dimensionamiento o para corriente permanente	224
	2.5.3.3.	Tableros como centro de control de motores (MCC)	227
	2.5.3.3.1.	Tableros eléctricos	227
	2.5.3.3.2.	Características constructivas de los tableros	228
	2.5.3.3.3.	Centro de control de motores	231
3.		FASE DE INVESTIGACIÓN	233
	3.1.	Plan de contingencia	233
	3.1.1.	Fundamento	233
	3.1.2.	Objeto	234
	3.1.3.	Antecedentes y marco legal	235
	3.1.3.1.	Antecedentes	235
	3.1.3.2.	Marco legal	236
	3.1.4.	Definiciones	237
	3.1.4.1.	Estructura de un plan de contingencia	237

	3.1.4.2.	Pasos para elaborar un plan de contingencia	237
	3.1.4.3.	Presentación del plan	239
3.2.		Plan de contingencia ante fugas: escapes y derrames, incendios y explosiones	239
	3.2.1.	Naturaleza del riesgo	239
	3.2.1.1.	Fugas: escapes y derrames	239
	3.2.1.2.	Incendios	240
	3.2.1.3.	Explosiones	242
	3.2.2.	Alcance de las consecuencias	246
	3.2.2.1.	Emisiones tóxicas y/o inflamables	246
	3.2.2.2.	Incendios	248
	3.2.2.3.	Explosiones	250
	3.2.3.	Evaluación de riesgos	251
	3.2.3.1.	Antecedentes	251
	3.2.3.2.	Riesgos que se consideran en los estudios	253
	3.2.3.3.	Consideraciones relativas al riesgo de incendio	256
	3.2.3.3.1.	Grado de riesgo	258
	3.2.3.4.	Emisiones de líquidos y nieblas	259
	3.2.3.5.	Consideraciones relativas al riesgo de explosiones	259
	3.2.3.6.	Consideraciones relativas a los riesgos del proceso	261
	3.2.3.6.1.	Documentación	262
	3.2.4.	Sistemas de protección	268

3.2.4.1.	Medios humanos	268
3.2.4.1.1.	Protección para la respiración en el uso de cloro	268
3.2.4.1.2.	Protección especial para el uso de sosa cáustica	269
3.2.4.1.3.	Protección especial para el uso de hipoclorito de sodio	270
3.2.4.1.4.	Protección especial para el uso de ácido clorhídrico	270
3.2.4.2.	Medios técnicos	271
3.2.4.2.1.	Medios de protección pasiva	271
3.2.4.2.2.	Medios de protección contra incendios	276
3.2.4.2.3.	Medios de protección contra explosiones	287
3.2.5.	Funciones	291

3.2.5.1.	Formación del Comité de Acción	291
3.2.5.1.1.	¿Quiénes deben integrar el comité?	291
3.2.5.1.2.	¿Cuál es la misión del comité?	292
3.2.5.1.3.	¿Cuáles son las responsabilidades y funciones de los integrantes del comité?	292
3.2.5.1.4.	¿Cómo cumple su misión el comité?	293
3.2.6.	Plan de acción	294
3.2.6.1.	Implementación del plan	294
4.	FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE	297
4.1.	Métodos de capacitación	297
4.1.1.	Objetivos	297
4.1.2.	Tipos de métodos	298
4.2.	Entrenamiento	301
4.2.1.	Frecuencia de realización de los simulacros	302

4.2.2.	Mantenimiento, revisión y actualización del plan de acción	303
	CONCLUSIONES	305
	RECOMENDACIONES	307
	BIBLIOGRAFÍA	309

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa	4
2.	Vista frontal de transformador trifásico	13
3.	Vista lateral de transformador trifásico	14
4.	Esquema de apartarrayos primitivo	20
5.	Partículas de óxido de zinc	22
6.	Típico seccionador de tres polos	31
7.	Interruptor <i>recloser</i> anclado con estructura metálica	35
8.	Regulador monofásico de voltaje	36
9.	Fusible tipo expulsión	39
10.	Corte de un fusible limitador de corriente	40
11.	Transformador trifásico tipo subestación	56
12.	Conexión delta – delta en transformadores	59
13.	Conexión delta – estrella en transformadores	60
14.	Conexión estrella – delta en transformadores	61
15.	Cable primario (URD) con neutro concéntrico	64
16.	Bajada típica primaria para cable 1/0, 15 kv	66
17.	Diagrama eléctrico de un banco de capacitores automáticos	78
18.	Defectos en los postes	89
19.	Vista de un crucero sencillo	96
20.	Vista de planta de un crucero doble	97
21.	Vista de crucero perpendicular	97
22.	Contravientos a tensión	100
23.	Contravientos a tensión con poste corto	101

24.	Contravientos a tensión para acera	102
25.	Determinación de la flecha de los conductores aéreos por visualización	108
26.	Aislador tipo pin ANSI 55 - 3	119
27.	Grapa de suspensión y grapa de remate	120
28.	Amortiguador <i>stockbridge</i>	122
29.	Colocación de ancla expansiva	123
30.	Corta circuito	125
31.	Vista de un seccionador	128
32.	Vista de una escalera de fibra de vidrio	129
33.	Pértiga de aislamiento tipo telescópica	130
34.	Mica de cable	131
35.	Caimanete manual	132
36.	Caimanete hidráulico	133
37.	Máquina <i>band-it</i> o flejadora	133
38.	Cincho de herramientas	134
39.	Diagrama eléctrico de un transformador para rectificación	141
40.	Esquema en bloques de un rectificador	146
41.	Principio de funcionamiento de un rectificador	146
42.	Característica U / I de un rectificador	147
43.	Tensión alterna trifásica con indicación de los períodos y fracciones de los mismos	149
44.	Rectificador para convertir la tensión alterna trifásica	151
45.	Corriente rectificada del rectificador	152
46.	Influencia de la carga resistiva en la rectificación: voltaje y corriente están en fase	154
47.	Rectificador con carga inductiva	154
48.	Influencia de la carga inductiva en la rectificación	156
49.	Rectificador con carga capacitiva	156

50.	Influencia de carga capacitiva en la rectificación: el voltaje y la corriente que circula por la carga se mantiene debido a la carga del condensador	158
51.	Conexión de rectificadores en serie	159
52.	Distintos voltajes inversos que soportan elementos rectificadores	160
53.	Conexión de rectificadores en paralelo	161
54.	Distintas intensidades directas que circulan por los rectificadores	162
55.	Rectificador trifásico de media onda, alimentación conectado en estrella	164
56.	Tensión alterna trifásica suministrada por los bobinados de alimentación	165
57.	Rectificador trifásico de onda completa	168
58.	Esquema de un circuito de filtrado de un solo condensador	173
59.	Gráfico representativo del efecto de un filtrado por condensador	175
60.	Circuito de filtrado compuesto de una inductancia y dos condensadores	175
61.	Esquema de un conjunto de filtros para la eliminación de los armónicos de la tensión rectificada	176
62.	Esquema bloque de conexión de un estabilizador de tensión	179
63.	Esquema constructivo de un diodo rectificador de óxido de cobre	181
64.	Esquema constructivo de un diodo rectificador de selenio	183
65.	Unión por aleación	184
66.	Disposición de diodos y del transformador en el interior de un armario	186
67.	Equipos rectificadores montados en armarios con refrigeración forzada de aire	187
68.	Protección por medio de fusibles	189
69.	Esquema de un rectificador con corta circuitador	190
70.	Membrana para proceso de electrólisis	195

71.	Celda tipo membrana	198
72.	Electrolizador de membrana	198
73.	Comportamiento de la materia en la membrana	199
74.	Esquema de reacciones en solución	199
75.	Dibujo de un electrolizador	208
76.	Forma y posición de un electrolizador	208
77.	Electrolizadores conectados en forma monopolar	210
78.	Electrolizadores conectados en forma bipolar	211
79.	Desconectador con carga, con porta fusible	214
80.	Esquema de montaje de un grupo motor-bomba de gran capacidad	216
81.	Vista de un compresor recíprocante	219
82.	Intercambiador de calor de casco y tubos	221
83.	Barra de cobre electrolítico, para acoplamiento de electrolizadores	226
84.	Tablero completamente abierto	229
85.	Tablero con protección	230
86.	Tablero formado por compartimientos	231
87.	Centro de control de motores	232
88.	Diagrama de flujo para elaborar un plan	238
89.	Triángulo de la defensa contra incendios	277
90.	Boca de incendio equipada	280
91.	Columna hidrante exterior	281
92.	Monitor fijo	282
93.	Boquilla para aplicación de agua en cortina	283
94.	Boquilla para agua pulverizada a velocidad media	284
95.	Dosificador (en línea) por inducción venturi	286
96.	Diagrama simplificado de flujo para generación de espuma con aire	286
97.	Sección longitudinal de un aparato para dosificación y espumación	287
98.	Diagrama esquemático de la eliminación de una explosión	289

TABLAS

I.	Tensiones nominales para interruptores	17
II.	Corrientes nominales para interruptores	17
III.	Precisiones normalizadas en transformadores de potencial	25
IV.	Cargas aceptadas en transformadores de corriente	28
V.	Precisiones normalizadas en transformadores de corriente	28
VI.	Voltajes y potencias para transformadores trifásicos	57
VII.	Conexiones típicas de transformadores	62
VIII.	Longitud total y diámetro del despunte	88
IX.	Cargas utilizadas para identificar la clase de poste	90
X.	Distancias de empotramiento recomendadas	91
XI.	Características de los postes de concreto	94
XII.	Presiones del viento mínima para las diferentes zonas de carga mecánica	113
XIII.	Aisladores tipo pin de bajo y medio voltaje	118
XIV.	Voltajes de cresta para pararrayos de distribución	127
XV.	Características de los pararrayos de óxido de zinc y los autovalvulares	128
XVI.	Datos del transformador rectificador	136
XVII.	Posiciones del cambiador de derivaciones	137
XVIII.	Características de transductores	138
XIX.	Características de transformadores de corriente	138
XX.	Datos del cambiador de derivaciones	139
XXI.	Tipos de intercambiadores de calor	222
XXII.	Características indeseables de algunos gases	248
XXIII.	Efectos de la radiación térmica de un incendio	249
XXIV.	Actividades afectadas	254
XXV.	Por el lugar de origen	255

XXVI.	Material incendiado inicialmente	255
XXVII.	Distribución del riesgo en una instalación	256
XXVIII.	Distribución de causas de accidentes en áreas de almacenamiento	256
XXIX.	Grado de riesgo	258

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
OF / WF	Aceite Forzado / Agua Forzada
ONAF	Aceite Natural / Aire Forzado
ONAN	Aceite Natural / Aire Natural
HV	Alto voltaje
A	Amperio
atm	Atmósfera
LV	Bajo voltaje
cm	Centímetro
MCC	Centro de control de motores
C.A.	Corriente alterna
C.D.	Corriente directa
F.P.	Factor de potencia
FEM	Fuerza electro-motriz
°C	Grado centígrado
HZ	Hertz
SF6	Hexafloruro de azufre
h	Hora
I	Intensidad o corriente
k	Kilo
ka	Kilo amperio
kΩ	Kilo ohmio
kw	Kilo vatios
kva	Kilo volt-amperio
Kva.	Kilo volt-amperio reactivo

kv	Kilo voltio
km	Kilómetro
kpa	Kilopascal
lbs	Libras
MV	Medio voltaje
M	Mega
MVA	Mega volt amperio
Mcal	Megacalorías
Mpa	Megapascal
m	Metro
mseg	Milisegundo
ppm	Partículas por millón
P.U.	Por unidad
%	Porcentaje
P	Potencia activa
S	Potencia aparente
Q	Potencia reactiva
TTR	Prueba de relación de transformación
R	Resistencia
tg	Tangente
VDC	Voltaje corriente directa
V	Voltio
VA	Volts-amperes

GLOSARIO

AAAC	American National Standard Institute.
Accidente	Acontecimiento no deseado que puede generar por resultado un daño físico a una persona, propiedad o al medio ambiente.
ACSR	Aluminium Conductor Steel Reinforced.
ANSI	American National Standard Institute.
AWG	American Wire Gauge.
BTU	Unidad Térmica Británica.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica .
Conductor	Esta compuesto de un núcleo metálico único, con o sin aislamiento.
Electrolizadores	Es el conjunto de celdas electrolíticas.

Emergencia	Situación que acontece cuando, en la combinación de factores conocidos, surge un evento no esperado, pero que es necesario atender de inmediato a fin de evitar efectos negativos.
Explosímetro	Aparato para medir concentraciones de gases y vapores inflamables.
IEC	International Electrotechnical Commission.
IGSS	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.
Libramiento	Distancia de seguridad entre conductores energizados y estructuras.
Liniero	Persona encargada del proceso de montaje de los apoyos, herrajes, conductores, transformadores, etc.
Línea primaria	Conductor que se encuentra energizado en 7.2 kv / 13.2 kv, 19.9 / 34.5 kv.
Línea secundaria	Conductor que se encuentra energizado en 120-240-480 voltios o como conductor neutral.
NESC	Nacional Electrical Safety Code.

Rectificador

Es un dispositivo que permite el paso de la corriente en un determinado sentido de circulación, pero no en sentido contrario.

Riesgo

Posibilidad de pérdidas y el grado de probabilidad de estas pérdidas.

Subestación eléctrica

Conjunto de máquinas, aparatos y circuitos que tiene como función cambiar las características de tensión y corriente de la energía eléctrica.

RESUMEN

La instalación eléctrica de una planta químico industrial cloro, sosa cáustica, depende de la capacidad de producción a la que a sido diseñada y requiere de la instalación de varios equipos eléctricos para lograr completar su funcionalidad. Este trabajo de graduación se presenta en cuatro capítulos y describe los principales aspectos que se necesitan en éste tipo de planta.

En el capítulo uno, se da a conocer una breve información general de la empresa, esto incluye: una reseña histórica, el organigrama, la misión y visión proyectada.

En el capítulo dos, se describe la fase de Servicio Técnico Profesional, éste se presenta en cinco capítulos secundarios, los principales elementos eléctricos que forma una subestación eléctrica que funciona con niveles de tensión normalizados de 69/13.8 kv., los requerimientos técnicos que se usan en subestaciones eléctricas con un nivel de tensión de 13.8 kv/480 voltios; da a conocer el tipo de acometida eléctrica, transformador y sus conexiones, tableros de distribución, etc., también se describen los materiales eléctricos más utilizados en la construcción de redes de distribución, tipos de postes, cruceros y herrajes, con el fin de mostrar las ventajas y desventajas de los distintos tipos de materiales que se encuentran en el mercado, los dispositivos y accesorios que forman un transformador rectificador de potencia y a la vez se presenta información sobre las características químicas y eléctricas sobre el proceso de electrólisis de una planta cloro soda.

El capítulo tres, describe la fase de Investigación, desarrolla teóricamente un Plan de Contingencia, considerando aspectos de emergencia provocados en una planta cloro-soda. Da a conocer los lineamientos en caso de fugas de los elementos químicos en proceso.

El capítulo cuatro, describe la fase de Enseñanza Aprendizaje, da a conocer los métodos de capacitación y la forma de entrenamiento para personal administrativo y operativo.

OBJETIVOS

General

Proporcionar un documento que sirva de guía para la consideración técnica de montaje de equipos eléctricos, necesarios para el funcionamiento de una planta cloro-soda y los requerimientos técnicos eléctrico-químicos del proceso de electrólisis para la separación molecular del cloruro de sodio.

Específicos

1. Establecer las características eléctricas de los equipos de una subestación eléctrica de 69/13.8 kv, para determinar los criterios de selección y montaje de los mismos.
2. Dar a conocer los requerimientos técnicos eléctricos de instalación de subestaciones eléctricas de 13.8 kv/480 voltios, líneas de distribución eléctrica, montaje del transformador rectificador para el área de electrólisis.
3. Dar a conocer las características eléctricas y químicas de electrolizadores para el proceso de electrólisis.

INTRODUCCIÓN

La planta Quimoalcali, es una planta dedicada al proceso químico, la función principal, es producir cloro y soda cáustica, a través del proceso llamado electrólisis.

Con base en almacenamiento de cloruro de sodio (sal), ésta es enviada a un saturador para recibir un tratamiento primario, luego es enviada a un clarificador (sedimentador) como salmuera filtrada; ésta recibe un precalentamiento a través de un intercambio iónico, para luego almacenarse como salmuera ultra pura. Esta salmuera recibe un calentamiento final y es enviada a un tanque alimentador; desde aquí es transportada al área de electrólisis.

En el área de electrólisis, están instalados los electrolizadores, que son elementos formados por dos placas, ánodo y cátodo, separados por una membrana, en éste lugar es donde se produce la separación molecular del cloruro de sodio, para convertirse en cloro y soda cáustica. El número de electrolizadores conectados eléctricamente en serie, depende de la capacidad de producción de cloro que la planta especifique. Estos electrolizadores trabajan a 121 VDC y 42.5 kA, teniendo la planta como consumo máximo de potencia de rectificación 5,142.5 kW.

La funcionalidad de la planta Quimoalcali, se basa en la instalación de los siguientes requerimientos eléctricos:

Instalación de subestación eléctrica de 69/13.8 kv de 10 MVA, con dos transformadores, uno de 7 MVA para el suministro de energía al transformador rectificador en el área de electrolisis y el otro transformador de 3 MVA para suministro de energía eléctrica a cuatro subestaciones eléctricas secundarias conectadas a un nivel de voltaje de 13.8 kv/480 voltios, éstas subestaciones son para, suministrar energía eléctrica al equipo periférico de la planta.

Instalación de una línea de distribución eléctrica con doble circuito en 13.8 kv, para el transporte de la energía eléctrica al transformador rectificador de 6.2 MVA y las cuatro subestaciones eléctricas secundarias, para el equipo periférico de la planta.

Instalación eléctrica del transformador rectificador de 6.2 MVA, 121 VDC, 42.5 kA para el suministro de energía eléctrica, en el área de electrolisis.

Requerimientos eléctricos y químicos de montaje, en el área de celdas para el desarrollo del proceso de electrólisis.

1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

Las empresas en proceso de construcción y montaje es totalmente guatemalteca, su proyección y liderazgo, es el manejo de cloro y soda cáustica y otros derivados.

Basado en la experiencia, su objetivo principal, es ofrecer a los clientes un producto de calidad con la finalidad de exportarlo a toda Centro América e inclusive a la República Dominicana.

La necesidad de crecimiento en la producción de cloro en la industria nacional, contribuirá de manera importante al desarrollo del país, porque representa una fuente constante de trabajo para muchos guatemaltecos y una fuente de divisas generados en el país.

1.1. Reseña Histórica

La empresa Quimoalcali, S.A., es una organización encargada de producir cloro y soda cáustica, utilizando ambos productos en diversas actividades químicas industriales.

Se menciona que a través de distintos estudios de mercado, se definió que no existían empresas en Guatemala, con la capacidad de producir de 20 a 30 toneladas diarias de cloro, surgiendo en forma inmediata la idea en 2 006 de adquirir maquinaria y equipo, así como recurso humano.

En 2007, la empresa empieza la etapa de construcción de la planta. De igual forma en 2008, se contrata personal de ingeniería y operativo de nacionalidad extranjera, la planta empieza su fase de construcción con un 78% de personal extranjero y un 22% de personal guatemalteco.

Se menciona que los documentos de la empresa, reflejan que la organización está inscrita como Sociedad Anónima, según consta en la Patente de Comercio del Registro Mercantil y en el Registro Tributario (SAT), en el régimen del impuesto sobre el valor agregado (IVA), de igual forma se declara formalmente inscrita por la Gerencia del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGGS).

1.2. Organigrama de la empresa

La empresa es una organización guatemalteca, moderna, ágil y dinámica, al servicio de todos los sectores químicos. Es objeto de análisis para lograr cubrir una amplia demanda del mercado, como los dueños son accionistas, su organización se adapta a una estructura vertical.

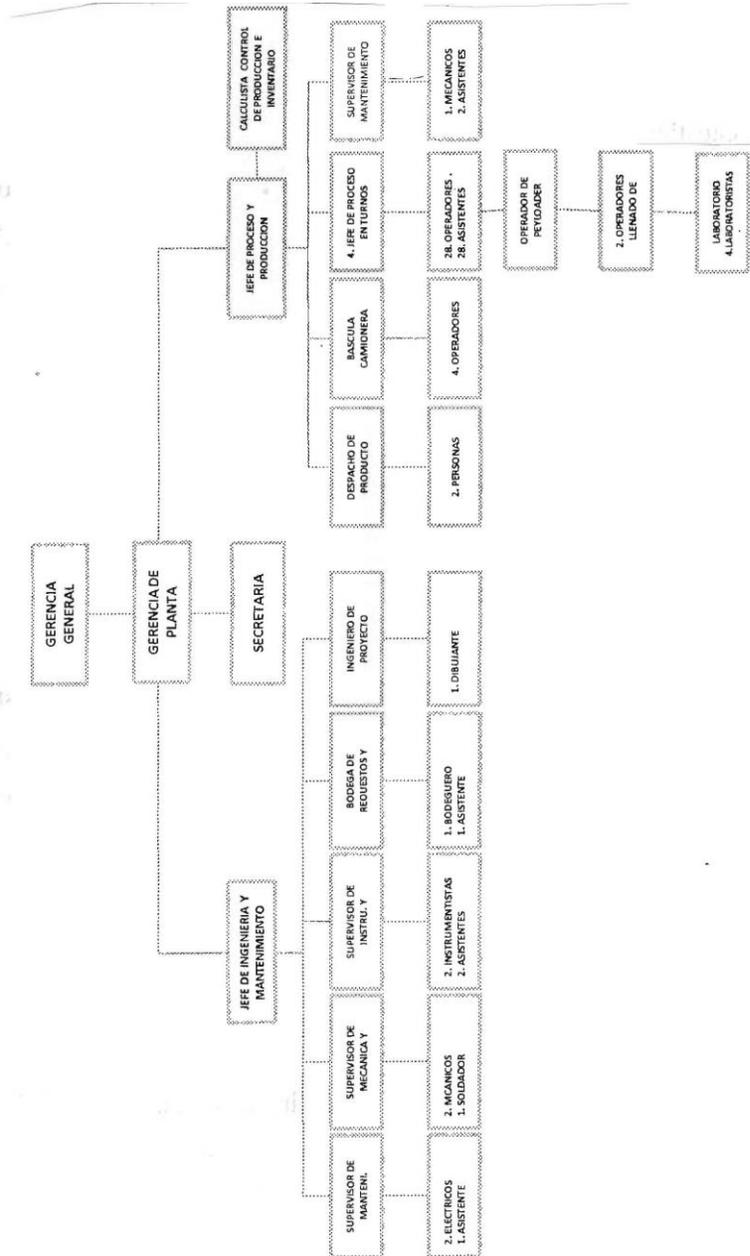
En el organigrama de la empresa cada puesto es subordinado a otro, se representa por cuadros en un nivel inferior, ligados por líneas que representan la comunicación de responsabilidad y autoridad. Los puestos de trabajo se ubican según su jerarquía, de arriba hacia abajo en una forma descendente. La estructura y las agrupaciones del personal son las siguientes:

- Gerente general: en este cargo se centralizan las decisiones para toda la planta, por lo tanto, asume riesgos determinados por el gerente de planta, el jefe de proceso y producción y de igual forma por el jefe de ingeniería y mantenimiento.

- Gerente de planta: dentro de las funciones está elaborar y transmitir las órdenes de trabajo al jefe de ingeniería y mantenimiento, también al jefe de proceso y producción; informar a diario al gerente general del movimiento de la planta, monitoreando los recursos financieros de acuerdo a las necesidades.
- Jefe de proceso y producción: es el encargado de dar las órdenes de producción a los operarios en proceso. Se encarga de la compra de materia prima y de los materiales necesarios para la producción.
- Jefe de ingeniería y mantenimiento: es responsabilidad del área de ingeniería y mantenimiento, conservar el buen funcionamiento de toda la maquinaria y equipos del área de producción; solicitando autorización de presupuesto para la compra de repuestos y/o servicios de ajustes a la maquinaria o contratando personal ajeno a la empresa cuando sea necesario.
- Supervisor: el personal de supervisión es el encargado de supervisar, ayudar y facilitar a los demás empleados, el mejoramiento de su desempeño en cada una de las actividades laborales asignadas.
- Operarios: dentro de las funciones de los operarios están las de operar las máquinas que intervienen en el proceso, verificar que dentro del proceso no existan fallas o de lo contrario avisar.
- Secretaria: es la encargada de atender el teléfono y de recibir toda la información que llega a la planta; atender y mantener el archivo activo para la información que la planta necesita guardar, pero también debe informarse de la tasa de cambio del día, realizar las planillas de los

empleados, para luego entregar al contador general.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: Gerencia General. Quimolcali, S.A.

1.3. Misión de la empresa

Es ser una empresa productora y distribuidora de cloro y soda cáustica y algunos químicos derivados, con una continúa implementación de control de calidad para ofrecer a nuestros clientes productos de calidad; así mismo promover el crecimiento a todos los empleados, para un beneficio mutuo con apoyo social, económico y cultural a la comunidad. También se pretende convertir la inversión de los accionistas en una rentabilidad de crecimiento sostenido.

1.4. Visión de la empresa

Ser una empresa productora y distribuidora de cloro y soda cáustica, ágil y dinámica a los cambios del mercado, incrementando su participación con una mayor diversificación de productos, mejora constante en sus procesos y permanente tecnificación de su recurso humano para lograr la satisfacción de sus clientes; orientada a obtener una mayor rentabilidad.

1.5. Valores

Los valores de la empresa con los siguientes:

- Calidad: hacer las cosas bien desde la primera vez, para la satisfacción del cliente.
- Creatividad: dirigir nuestros esfuerzos a la innovación constante
- Eficiencia: maximizar resultados optimizando recursos
- Rentabilidad: convertir la inversión en un beneficio de crecimiento sostenido.

- Servicio: brindar la mejor atención al cliente
- Superación: mantener un constante desarrollo y crecimiento
- Higiene: aplicar principios y normas, para conservar la salud
- Responsabilidad: cumplir siempre más allá del objetivo

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Subestación eléctrica de 10 MVA, 69/13.8 kv.

La subestación eléctrica posee determinadas características, las cuales de detallan a continuación:

2.1.1. Equipos de la subestación eléctrica

Por el nombre de subestación, se entiende como un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos que tienen como función: cambiar las características de tensión y corriente de la energía eléctrica y proveer las facilidades necesarias para su interrupción, control y protección para condiciones de operación normal y de emergencia.

2.1.1.1. Transformador de potencia

Los transformadores de potencia, cumplen con una función muy importante en los sistemas eléctricos de potencia. Deben transformar el voltaje del sistema de un nivel nominal a otro y deben ser capaces de transportar el flujo de potencia en forma continúa hacia una parte particular del sistema o hacia la carga. Es necesario considerar y especificar las características de un transformador de potencia.

2.1.1.1.1. Transformador trifásico de potencia

En los sistemas de energía eléctrica para el transporte y la distribución de la corriente alterna, no se utilizan transformadores de potencia monofásicos, por tal razón, es importante considerar los conceptos de transformadores trifásicos de potencia.

Una transformación trifásica – trifásica, está formada por un devanado primario formando una conexión trifásica equilibrada y un devanado secundario, con una conexión trifásica también equilibrada con la función de alimentar un sistema de energía eléctrica trifásica. Una transformación trifásica se puede dar de dos formas:

- A través de tres unidades de transformadores monofásicos independientes, unidos entre sí por medio de una conexión trifásica.
- A través de un sólo transformador trifásico, que en cierta forma internamente reúne a tres transformadores monofásicos y la interconexión magnética de los núcleos que pueden adoptar diversas disposiciones.

El transformador trifásico está formado por los circuitos magnéticos de los tres transformadores monofásicos, aprovechando la composición de flujos en una y otra parte de dichos circuitos magnéticos, para lograr una reducción en sus dimensiones.

2.1.1.1.2. Capacidad nominal

La capacidad nominal del transformador trifásico es de 5000/5600 kva con un enfriamiento ONAN, 6250/7000 kva con enfriamiento ONAF, con una elevación de temperatura máxima de 55/65 °C. La selección de los kva de un transformador, debe estar basada en un buen estudio de ingeniería y considerar los efectos de ciclos de carga y temperatura ambiente.

La corriente nominal, es la corriente que fluye a través de una terminal de un devanado, calculada, dividiendo la capacidad nominal del devanado entre la tensión nominal del mismo y el factor de fase apropiado.

La frecuencia nominal, es la frecuencia a la cual debe operarse el transformador, es de 60 Hz. Existen sistemas en otros países a 50 HZ, como en Europa.

2.1.1.1.3. Tipo de servicio

Para este transformador, el tipo de servicio es intemperie y sus devanados están sumergidos en aceite dieléctrico.

2.1.1.1.4. Grupo de conexión

El transformador tiene como grupo de conexión DYN1, es decir, delta (triángulo) en el devanado primario y estrella en el devanado secundario. En el lado de alta tensión, el aislamiento trabaja a solamente 58 % del voltaje de línea a línea; una ventaja es que el punto neutro es estable y no flota cuando la carga es desbalanceada. Esta conexión es muy usada en transformadores para

suministrar carga trifásica y carga monofásica; entonces la conexión proporciona un cuarto hilo al neutro.

2.1.1.1.5. Sistemas de enfriamiento

Este transformador fue diseñado para funcionar con características eléctricas normales, bajo dos condiciones:

- Sistema ONAN: el transformador cuenta con un número suficiente de radiadores o enfriadores, para que no exceda las temperaturas máximas permisibles. En la entrada y la salida de cada enfriador se proporcionan válvulas de mariposa para poder desmontar el radiador del tanque (cuba), sin recurrir a vaciar el aceite del transformador.

Estas válvulas están montadas en el tanque del transformador y se acoplan a los enfriadores por medio de bridas atornilladas y con empaques a prueba de aceite. Un lado de las bridas, cuenta con una caja circular y rectangular, maquinada, para alojar empaques y evitar sobre compresiones. Las válvulas tienen indicador de posición.

En este tipo de enfriamiento como las bobinas del transformador se encuentran sumergidas en el aceite, su enfriamiento es propio, autoenfriado, no necesita equipo adicional.

- Sistema ONAF: en este sistema el transformador cuenta con un número suficiente de radiadores o enfriadores, detectores de temperatura, sistema de control y protección, con el objeto de que el transformador, no exceda las temperaturas máximas permisibles. En este sistema el enfriamiento se realiza, autoenfriado y enfriado por aire forzado por medio de

ventiladores, donde éstos deben ser trifásicos y además, cumplen con los siguientes requerimientos eléctricos:

- Son totalmente cerrados
- Están fabricados por un servicio a intemperie
- Diseñados para una frecuencia de 60 Hz
- Fabricados para una clase de aislamiento tipo B
- Fabricados para una elevación de temperatura de 80 °C
- Tiene dispositivo de protección de sobre corriente para cada motor
- El voltaje de alimentación es de acuerdo a características muy particulares.

El control de los pasos de enfriamiento debe hacerse de acuerdo a la temperatura, esto es, por medio de un termómetro de imagen térmica de devanados. Además, los gabinetes de control del transformador, cumplen con lo siguiente:

- Interruptor termomagnético, por cada uno de los pasos de enfriamiento
- Contactores termomagnéticos directos a la línea para marcha y paro para cada uno de los pasos de enfriamiento.

2.1.1.1.6. Cambiador de derivaciones

Este tipo de cambiador debe hacerse con el transformador desenergizado y cumple con las siguientes características:

- El devanado de alta tensión cuenta con cuatro (4) derivaciones de 2.5 % de la tensión nominal, es decir, 2 de 2.5 % cada una para bajar voltaje y 2 derivaciones de 2.5 % cada una para subir voltaje.

- Este cambiador de derivación sin carga (off load) es para una operación externa, con un volante fuera del tanque, identificado con los segmentos de uno a cuatro o por letras del abecedario. El volante cuenta con un aditamiento para asegurarse, un candado. La altura del volante, es propia para operarse por una persona parada al nivel del piso.

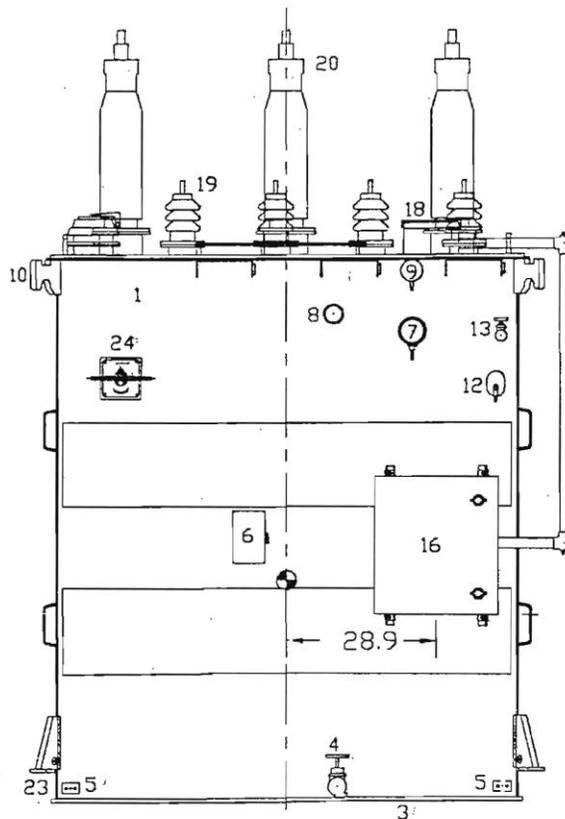
2.1.1.1.7. Accesorios y componentes

El transformador está compuesto de los siguientes accesorios:

- Tanque sellado
- Tapadera con soldadura en la junta
- Base
- Dos (2) válvulas para drenar el aceite
- Terminales para conexión a tierra
- Placa de datos
- Indicador de temperatura del aceite con contactos de alarma
- Indicador magnético del nivel de aceite
- Manómetro para presión de vacío, con válvula de prueba
- Gancho soporte para levantar el transformador
- Tapa atornillada
- Cambiador de derivación
- Una válvula para instalar presión
- Una tubería en tapadera superior para instalar presión
- Válvula de alivio de presión
- Gabinete de control
- Dos soportes para instalar ventiladores
- Registro para conexiones de transformadores de corriente

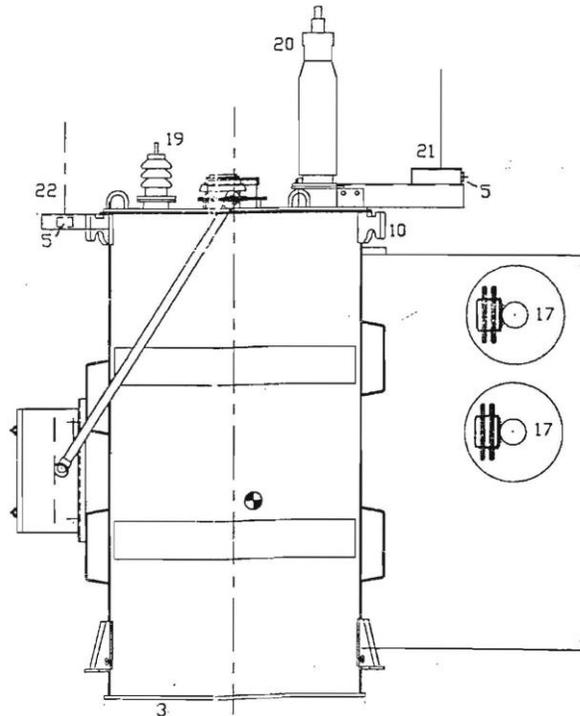
- *Bushings* de bajo voltaje
- *Bushings* de alto voltaje
- Ménsula provista para instalar pararrayos en alta tensión
- Ménsula provista para instalar pararrayos en media tensión
- Soporte provisional sobre el tanque para maniobras en el transformador
- Selector de dos posiciones de voltaje de salida en media tensión

Figura 2. **Vista frontal de transformador trifásico**



Fuente. ABB, Small Power Transformers, South Boston, VA

Figura 3. **Vista lateral de transformador trifásico**



Fuente. ABB, Small Power Transformers, South Boston, VA

2.1.1.2. **Interruptores**

Se define un interruptor de potencia, como el dispositivo eléctrico que cierra o abre la continuidad de un circuito eléctrico, bajo condiciones de carga o en condiciones normales y en falla.

El interruptor es juntamente con el transformador, uno de los equipos más importantes de una subestación eléctrica. Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se logra alcanzar, en un sistema eléctrico de potencia.

2.1.1.2.1. Tipos de interruptores

De acuerdo con los elementos que intervienen en la apertura del arco de las cámaras de extinción, los interruptores se dividen en los siguientes grupos:

- Interruptor en gran volumen de aceite: en este interruptor el tipo extinción, el arco que se produce se calienta, dando lugar a una formación de gas que, aprovechando el diseño de la cámara, empuja un chorro de aceite a través del arco, provocando su alargamiento y enfriamiento, hasta llegar a la extinción del mismo, al pasar la onda de corriente por cero.

Para grandes tensiones y capacidades de ruptura, cada polo del interruptor va dentro de un tanque separado, aunque el accionamiento de los tres polos, es simultáneo por medio de un mando común. En este tipo de interruptores, el mando puede ser eléctrico, con resortes o con compresora unitaria, según la capacidad interruptiva del interruptor.

- Interruptor en pequeño volumen de aceite: normalmente se usan tensiones y potencias medianas. En este tipo de interruptor, las cámaras de extinción tienen la propiedad de que el efecto de extinción, aumenta a medida que la corriente que va a interrumpir, crece. Por tal razón, al extinguir las corrientes de baja intensidad, las sobre tensiones generadas son pequeñas.

La potencia de apertura es limitada, sólo por la presión de los gases desarrollados por el arco, donde dicha presión debe ser soportada por la resistencia mecánica de la cámara de arqueo. Para potencias interruptivas altas, el soplo de los gases sobre el arco, se hace perpendicular al eje de los contactos, mientras que para potencias bajas,

el soplo de los gases se inyecta en forma axial.

2.1.1.2.2. Interruptor de hexafloruro de azufre (SF6)

El medio de extinción de arco eléctrico, debe ser de gas hexafloruro de azufre (SF6) a una sola presión. Generalmente, este tipo de interruptor es construido para servicio tipo intemperie. Con la característica de tanque muerto o de tanque vivo. El tanque muerto significa que el tanque del interruptor y todos sus accesorios se mantienen al potencial de tierra, que la fuente externa y que las conexiones a la carga se hacen por medio de boquillas convencionales. El de tanque vivo, significa que las partes metálicas y de porcelana que contiene el mecanismo de interrupción se encuentran montadas sobre columnas de porcelana aislante y están, por ende, al potencial de la línea.

2.1.1.2.3. Valores nominales de voltaje, frecuencia y corriente

Las tensiones nominales de los interruptores, deben estar basadas de acuerdo a la tensión nominal del sistema y con su nivel de aislamiento determinado, su selección debe hacerse de acuerdo a la tabla I.

Los interruptores se diseñan para operar en 60 Hz. La corriente de los interruptores está dada por el valor eficaz (r.m.s.) de la corriente, ésta es capaz de conducir continuamente en el interruptor, sin sufrir ningún daño a la frecuencia nominal y sin exceder los valores de elevación de temperatura de diferentes partes del interruptor.

Tabla I. **Tensiones nominales para interruptores**

Tensión Nominal Valor Eficaz (kv)	
Sistema	Interruptor
115	123
138	145
161	170
230	245
400	420

Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas.
p. 162.

Tabla II. **Corrientes nominales para interruptores**

TENSIÓN NOMINAL DEL INTERRUPTOR (Vn) VALOR EFICAZ KV	CORRIENTE NOMINAL A 60 Hz A
123	1250
	1600
	2000
145	1250
	1600
	2000
170	1250
245	1250
	1600
	2000
	2500
	3150
420	1600
	2000
	2500
	3150

Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas.
p. 163

2.1.1.2.4. Condiciones normales de servicio

Los interruptores deben estar diseñados para sistemas conectados solidamente a tierra. Los interruptores deben operar a una temperatura ambiente, que no exceda de 40 °C y un valor promedio medido en un período de 24 horas de 35 °C. Además, los interruptores deben estar diseñados para operar a una temperatura mínima de -25 °C. Y operar a una altura de 1000 m.s.n.m.. Y cuando se necesitan a una operación que requiere una altura mayor, se deben hacer las correcciones necesarias, para que el interruptor mantenga a la altitud en que se encuentra instalado.

2.1.1.2.5. Capacidad interruptiva

Los interruptores deben cumplir con la corriente interruptiva de corto circuito, dado por el valor eficaz (r.m.s.) de su componente de corriente alterna asociada con una componente de corriente directa.

La corriente sostenida de corta duración (3 segundos), debe ser la corriente que el interruptor es capaz de conducir en posición cerrada y con un valor igual al de la corriente interruptiva de cortocircuito.

2.1.1.2.6. Criterios para la selección y aplicación

- El tiempo de cierre de un interruptor a la frecuencia de 60 Hz, debe ser como máximo 0.16 segundos (10 ciclos).
- La capacidad de la tensión nominal para la apertura del interruptor,

deberá ser de 3 minutos.

- Los interruptores deben cumplir en no excederse de los tiempos de operación, entre el primero y el último polo; de acuerdo a:
 - Operación de cierre, 3 milisegundos máximo
 - Operación de apertura, 2 milisegundos máximo

- Cuando existe más de una cámara de interrupción por polo, se debe verificar de no exceder las diferencias de simultaneidad de tiempos de operación, entre el primero y el último contacto del mismo polo, quedan de acuerdo a:
 - Operación de cierre, 2 milisegundos máximo.
 - Operación de apertura, 2 milisegundos máximo.

2.1.1.3. Apartarrayos

Los apartarrayos son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores, que limitan la amplitud de las sobre tensiones originadas por descargas atmosféricas.

2.1.1.3.1. Funciones de los apartarrayos

Las funciones de los apartarrayos como dispositivos de protección son:

- Descargar las sobre tensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.

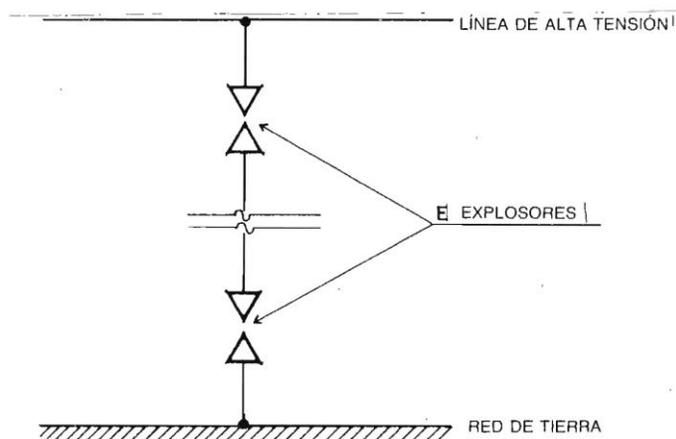
- Conducir a tierra las corrientes de descarga, producidas por las sobre tensiones.
- No deben operar con sobre tensiones temporales de baja frecuencia
- La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

2.1.1.3.2. Tipos de apartarrayos

Los apartarrayos tienen una clasificación que a continuación se detalla.

- Cuernos de arqueo: los apartarrayos primitivos están formados por un explosor, en el caso más sencillo o varios explosores en serie, conectados por un lado al circuito vivo que se va a proteger y por el otro lado a la red de tierra.

Figura 4. Esquema de apartarrayos primitivo



Fuente: MARTÍN, José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 71

- Apartarrayos auto valvulares este tipo de apartarrayos, llamado también convencional, está formado por una serie de resistencias no lineales de carburo de silicio, prácticamente sin inductancia, presentadas como pequeños cilindros de material prensado.

Estas resistencias evitan que una vez iniciada la descarga en los explosores, se produzca una corriente permanente. A su vez permiten disminuir las distancias entre los electrodos, proporcionando mayor sensibilidad al apartarrayos, aún considerando sobre tensiones reducidas.

El funcionamiento se da cuando se origina una sobre tensión, se produce el arqueado de los entrehierros y la corriente resultante es limitada por las resistencias a pequeños valores, hasta que una de las pasadas por cero de la onda de corriente, los explosores interrumpen definitivamente la corriente.

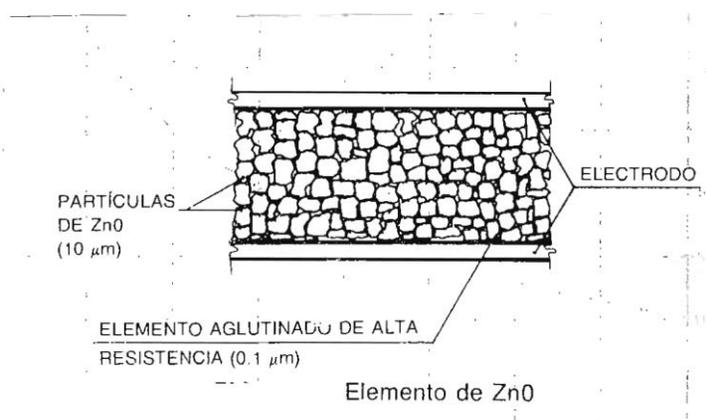
- Apartarrayos de óxido metálico: está basado en que la curva de tensión corriente de las resistencias es menos lineal que los apartarrayos de carburo de silicio, éste conduce cuando la tensión es superior a la tensión máxima de referencia y cierra la conducción, prácticamente a un valor cero, cuando la tensión regresa a su valor normal.

Están formados por varias piezas de resistencia no lineal, de óxido de zinc, apiladas dentro de una columna hueca de porcelana, sin entrehierros. Las resistencias no lineales son también unos pequeños cilindros formados por partículas de óxido de zinc, éstas partículas están formadas por cristales de óxido de zinc de unos 10 micrones, rodeado por un material aglutinador de mayor resistencia eléctrica en el cristal, donde se produce una separación entre los cristales del orden de 0.1 de micrón

y permite cierto contacto entre los cristales de óxido, produciendo una resistencia no lineal.

La resistencia de los cristales es menor que la del material aglutinador, cuando se forma una sobre tensión entre los elementos no lineales, donde la tensión aparece en la capa aglutinadora y se produce un fenómeno multiplicador de corriente; se obtiene una característica extremadamente no lineal entre la tensión aplicada y la corriente resultante.

Figura 5. **Partículas de óxido de zinc**



Fuente: MARTÍN, José Raúll. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 75

2.1.1.4. Transformadores de potencial

En los transformadores de potencial, la tensión secundaria es proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada.

Estos aparatos desarrollan dos funciones:

- Transformar la tensión
- Aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos.

El devanado primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y protección que se desea energizar. Los cuales son fabricados para servicio interior y exterior, se fabrican con aislamiento de resinas sintéticas para tensiones bajas o medias y para altas tensiones se fabrican aislamientos de papel, aceite y porcelana.

2.1.1.4.1. Parámetros de los transformadores de potencial

- Tensiones: en un transformador de potencial, las tensiones primaria y secundaria, están normalizadas de acuerdo con normas nacionales e internacionales.
- Tensión primaria: hay que seleccionar el valor normalizado inmediato superior, al valor calculado de la tensión nominal de la instalación.
- Tensión secundaria: debe considerarse que según la norma ANSI, está normalizado 120 voltios para aparatos de hasta 25 kv y 115 voltios para aquellos con valores superiores a 34.5 kv.
- Potencia nominal: es la potencia secundaria dada en volt-amperes, que se desarrolla bajo la tensión nominal y que se indica en la placa de características del aparato.

- Carga: es la impedancia que se conecta a las terminales del devanado secundario.
- Clase de precisión para medición: la clase de precisión es definida por el error máximo admisible en por ciento, que el transformador de potencial puede introducir en la medición de potencia, operando con su tensión nominal primaria y la frecuencia nominal.
- Precisión: en un transformador de potencial, se debe garantizar para valores entre 90 % y 110 % de la tensión nominal. Según las normas ANSI, se define la clase de precisión de acuerdo a los valores: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3 y 5.

En las subestaciones eléctricas se especifican los transformadores de potencia con la siguiente nomenclatura, de acuerdo a las normas ANSI: 0.3 W, 0.3 X, 0.3 Y, 1.2 Z, ver tabla III.

2.1.1.5. Transformadores de corriente

Son aparatos donde la corriente secundaria, dentro de las condiciones de operación normal, es proporcional a la corriente primaria, aunque un poco desfasada. Los transformadores de corriente desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

Tabla III. **Precisiones normalizadas en transformadores de potencial**

Cargas normales para transformadores de potencial según normas ANSI C.57.13					
Cargas normales		Características con base en 120 V y 60 Hz			
Designación	VA	f.p.	Resistencia ohms	Inductancia henrys	Impedancia ohms
W	12.5	0.10	115.2	3.042	1 152
X	25	0.70	403.2	1.092	576
Y	75	0.85	163.2	0.268	192
Z	200	0.85	61.2	0.101	72
ZZ	400	0.85	30.6	0.0554	36
M	35	0.20	82.6	1.07	411

Fuente: MARTÍN, José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 57

El devanado primario de un transformador de corriente, se conecta en serie con el circuito por controlar y el devanado secundario, se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieren ser energizados.

Generalmente, un transformador de corriente puede tener uno o varios devanados secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión y los demás se pueden utilizar para protección.

2.1.1.5.1. Parámetros de los transformadores de corriente

- Corriente: las corrientes primarias y las corrientes secundarias de un transformador de corriente, deben estar normalizadas de acuerdo a normas nacionales e internacionales.

- Corriente primaria: para esta magnitud eléctrica, se selecciona el valor normalizado inmediato superior de la corriente calculada para la instalación. Para las subestaciones de potencia, los valores normalizados son: 300, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000 y 4000 amperes.
- Carga secundaria: es el valor de la impedancia, dada en una unidad de medida en ohms, considerada en el devanado secundario de los transformadores de corriente y que está formada por la suma de las impedancias del conjunto de todos los medidores, relevadores, cables y conexiones conectadas en serie con el devanado secundario y que representa la llamada potencia de precisión a la corriente nominal secundaria.
- Límite térmico: todo transformador debe tener la capacidad de soportar en forma permanente hasta un 20 % sobre el valor nominal de la corriente, sin exceder el nivel de temperatura especificado.
- Límite de corto circuito: representa la corriente de corto circuito máxima que debe soportar un transformador durante un tiempo que varía entre 1 y 5 segundos. Para éste límite las normas permiten una densidad de corriente de 143 A/mm² durante un segundo de duración del corto circuito.
- Tensión secundaria nominal: representa la tensión que se levanta en las terminales secundarias del transformador, al alimentar una carga de veinte veces la corriente secundaria nominal.
- Potencia nominal: representa la potencia aparente secundaria que generalmente se expresa en volt-amperes (VA) y a veces en ohms, bajo

una corriente nominal especificada en la placa característica de datos. La potencia nominal del transformador, se escoge luego de sumar todas las potencias de las bobinas de todos los aparatos conectados en serie con el devanado secundario, más las pérdidas por el efecto joule, que se produce en los cables de alimentación y se considera el valor nominal inmediato superior a la cifra obtenida.

- Clase de precisión para medición: esta clase de precisión se designa por el error máximo admisible en por ciento, que el transformador puede introducir en la medición, operando a corriente nominal primaria y la frecuencia nominal.
- La elevación de temperatura: es admisible en el aparato una elevación de temperatura de 150 °C, para un aislamiento de clase A. Donde la elevación de temperatura se obtiene a una densidad de corriente de 143 A/mm², aplicado durante un segundo.
- Precisión: en las subestaciones eléctricas se acostumbra especificar los transformadores de corriente con la siguiente nomenclatura: C200, 0.3 B01 a 0.3 B2.0. Para este caso 0.3 es la precisión, 200 es la tensión que se levanta en las terminales secundarias, por un error menor del 10 % y 0.1 a 2.0 son los límites de variación de las cargas.

Tabla IV. **Cargas aceptadas en transformadores de corriente**

Cargas normales para transformadores de corriente según Normas ANSI C.57.13					
Designación de la carga	Características		Caract. para 60 Hz y corr. sec. de 5A		
	Resistencia (ohm)	Inductancia en milihenrys	Impedancia (ohm)	VA	Factor de potencia
B0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
B1.0	0.50	2.3	1.0	25	0.5
B2.0	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Fuente: MARTÍN, José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 53

Tabla V. **Precisiones normalizadas en transformadores de corriente**

Clase	Utilización
0.1	Aparatos para mediciones y calibraciones de laboratorio.
0.2 a 0.3	Mediciones de laboratorio y alimentaciones para los wathorímetros de alimentadores de potencia.
0.5 a 0.6	Alimentación para wathorímetros de facturación en circuitos de distribución e industriales.
1.2	Alimentación a las bobinas de corriente de los aparatos de medición en general, indicadores o registradores y a los relevadores de las protecciones diferencial, de impedancia y de distancia.
3 a 5	Alimentación a las bobinas de los relevadores de sobrecorriente.

Fuente: MARTÍN, José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 54

2.1.1.6. Dispositivos de potencial

Son similares a los transformadores de potencial, con la diferencia de que en lugar de ser de tipo inductivo, son de tipo capacitivo y generalmente se

utilizan para alimentar con tensión, los aparatos de medición y protección de un sistema eléctrico. Están compuestos por un divisor capacitivo y una unidad electromagnética, donde la tensión secundaria de la unidad electromagnética, es directamente proporcional y está en fase con la tensión primaria aplicada. Además, el transformador capacitivo se consigue usando capacitores independientes o también utilizando capacitancias instaladas en las boquillas de tipo capacitivo.

2.1.1.6.1. Parámetros de los transformadores capacitivos

- Carga: esta unidad de medida está expresada en volt-amperes
- Capacidad térmica: debe ser cuando menos o igual a la carga máxima nominal de la precisión especificada. Esta dada por volt-amperes.
- Corto circuito: debe soportar en las terminales secundarias durante un segundo, los esfuerzos térmicos y dinámicos, debidos a un corto circuito y mantener en terminales primarias su tensión nominal, sin que la elevación de temperatura exceda de 250 °C.
- Precisión: en el caso de medición, es de: 0.3, 0.6 y 1.2

2.1.1.7. Seccionadores

El seccionador es un dispositivo mecánico de conexión, que asegura en posición abierta una distancia de seccionamiento que satisface condiciones específicas. Es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable o bien no se produce ningún

cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

Además, sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica para efectuar maniobras de operación o bien para brindar mantenimiento.

El seccionador es capaz de conducir corrientes en condiciones normales del circuito y soportar corrientes por un tiempo especificado en condiciones anormales, como los de corto circuito.

La diferencia entre seccionador e interruptor, es que los dos abren o cierran un circuito eléctrico, pero el seccionador no puede abrir un circuito con corriente desde el valor nominal, hasta el valor de corto circuito.

Los seccionadores están formados por una base metálica de lámina galvanizada con un conector para puesta a tierra; dos o tres columnas de aisladores que fijan el nivel básico de impulso y por encima de éstos, la cuchilla.

La cuchilla está formada por una navaja móvil y la parte fija en una mordaza que recibe y presiona la parte móvil. Hay que notar que existen dos aisladores por polo, uno de soporte y el otro que transmite el movimiento al brazo.

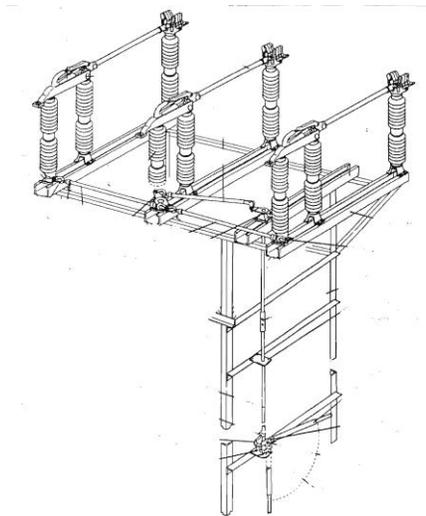
Las cuchillas, de acuerdo con la posición que guarda la base y la forma que tienen el elemento móvil, pueden ser:

- Horizontal: Pueden ser de tres postes. El mecanismo hace girar el poste central que origina el levantamiento de la parte móvil de la cuchilla.

Para compensar el peso de la cuchilla, la hoja móvil tiene un resorte que ayuda a la apertura.

- Vertical: Por la posición de las cuchillas, los tres aisladores se encuentran en forma horizontal y la base está en forma vertical. Para compensar el peso de la hoja de la cuchilla, también tiene un resorte que; en este caso, ayuda a cerrar la cuchilla.
- Pantógrafo: Para este tipo de posición, las cuchillas están de un sólo poste aislante, sobre el cual se soporta la parte móvil. Este sistema está formado por un mecanismo mecánico de barras conductoras, que tienen la forma de los pantógrafos que se utilizan en las locomotoras eléctricas. La parte fija está colgada de un cable o de un tubo exactamente sobre el pantógrafo, de tal forma que al irse elevando la parte superior de ésta, se conecta con la mordaza fija cerrando el circuito.

Figura 6. **Típico seccionador de tres polos**



Fuente: Manual de Pascor Atlantic Corporation.

2.1.1.8. Interruptor *recloser*

El aparato llamado interruptor *recloser*, es un dispositivo utilizado en media tensión con una potencia de corto circuito moderada, provisto para despejar fallas temporales o interrumpirlas en caso de ser fallas permanentes.

El *recloser*, se utiliza para realizar múltiples recierres y trabajar coordinadamente con fusibles y seccionadores.

- El *recloser* es un dispositivo eléctrico, utilizado como herramienta moderna, técnicamente confiable y económica para la electrificación en media tensión.
- El *recloser* agrupa en un sólo bloque, todo el equipamiento que generalmente se necesita en una subestación eléctrica, ocupando un espacio mínimo y a un costo reducido.

2.1.1.8.1. Características del *recloser*

- Principio de funcionamiento. A través de transformadores de corriente montados en los bornes del lado de la fuente, el *recloser* es capaz de detectar corrientes de falla mayores que un valor mínimo de disparo previamente programado, para una o más fases y mediante señales emitidas por el sistema de control electrónico.

Este control electrónico activará las funciones de disparo y cierre del interruptor. La apertura y cierre de los contactos principales se ejecutará mediante un actuador magnético, el cual está provisto de una fuente autónoma de energía.

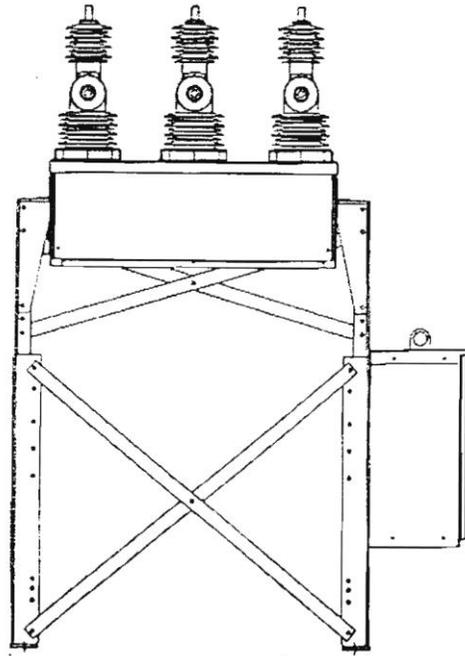
- Elementos de conducción de corriente. Estos elementos son capaces de soportar la corriente nominal a la frecuencia de operación, sin necesidad de mantenimiento excesivo, las terminales y conexiones de los elementos de contacto, deben diseñarse para asegurar permanente una resistencia de contacto reducida.
- Mecanismo de apertura. El *recloser* es un interruptor de recierre de disparo libre. El mecanismo de apertura, debe diseñarse de forma que asegure la apertura en el tiempo especificado, si el impulso de disparo se recibiera en la posición de total o parcialmente cerrado. La bobina de disparo, debe ser capaz de abrir el interruptor en los límites de rango de tensión auxiliar especificado.
- Mecanismo de cierre. El diseño es tal, que no debe interferir con el mecanismo de disparo. El mecanismo de cierre, debe desenergizarse automáticamente cuando se completa la operación. Además, debe contar con la posibilidad de cierre manual, para cuando el interruptor no cuente con la energía en la bobina de cierre.
- Transformadores de corriente para detección de fallas. Están ubicados en los tres bornes hacia el lado de la fuente del interruptor. Los transformadores detectan las corrientes de falla mayores que un valor mínimo de disparo de modo que permita la operación del sistema de control electrónico. La relación de transformación será de: 300 – 100/1 A.
- Transformadores de corriente para medición. Están unidos en los tres bornes hacia el lado de la carga del interruptor, deben tener las características técnicas estipuladas con la nomenclatura descrita en normas nacionales e internacionales.

- Aislamiento. Los aisladores del interruptor *recloser* son de porcelana o material polímero de goma silicón, diseñadas de tal forma que si ocurriera una descarga a tierra por tensión de impulso con el interruptor en las posiciones de abierto o cerrado, está deberá efectuarse por la parte externa, sin que se presente descarga en la parte interna o perforación del aislamiento.

Asímismo, el *recloser* debe tener la suficiente resistencia mecánica, para soportar los esfuerzos razonables en los conectores y conductores, variaciones bruscas de temperatura y los producidos por sismos. El aislamiento debe ser capaz de soportar continuamente la tensión máxima de servicio.

- Resistencia mecánica. Los interruptores *recloser* deben estar diseñados mecánicamente para soportar esfuerzos debidos a:
 - Cargas del viento
 - Fuerzas electrodinámicas producidas por corto circuitos
 - Fuerzas de tracción en las conexiones horizontales y verticales en la dirección más desfavorable.

Figura 7. **Interruptor *recloser* anclado con estructura metálica**



Fuente: Boletín técnico. Manual de ABB Corporation.

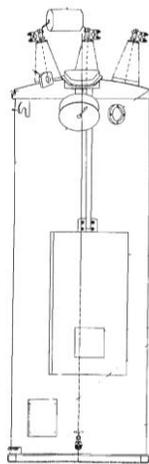
2.1.1.9. Reguladores de voltaje

Los dispositivos eléctricos, reguladores de voltaje o de tensión, generalmente se usan en media y alta tensión. Dichos reguladores están provistos de un cambiador de derivaciones bajo carga, que mantiene la regulación de tensión en forma automática.

Cuando se necesita usar reguladores en capacidades y tensiones menores, se acostumbra usar reguladores de voltaje en forma separada del banco de transformadores, independientemente de que éste sea trifásico o esté formado por unidades monofásicas. Comercialmente se pueden encontrar tres tipos de reguladores de voltaje:

- En los alimentadores de distribución, que parten de un transformador con cambiador de derivaciones sin carga, se acostumbra instalar un regulador por alimentador, que ajuste en forma automática a una tolerancia del 10 por ciento del valor nominal de la tensión nominal.
- En un sistema con arreglo de doble barra, que utiliza un banco de tres unidades monofásicas, se acostumbra instalar el regulador entre el banco de transformadores y la barra en media tensión. El regulador será trifásico, con capacidad de regulación que equivale a una tolerancia del 10 % de la capacidad del banco.
- En un sistema con arreglo en anillo en el lado de media tensión y con bancos trifásicos de 60 MVA y 230 kv, cada transformador está provisto de un cambiador automático de derivaciones, por cuyo medio se regula la tensión de salida del banco de transformación.

Figura 8. **Regulador monofásico de voltaje**



Fuente: Información técnica. Manual de ABB Corporation.

2.1.1.10. Fusibles

Son dispositivos de protección eléctrica de una red, para cumplir la función de interrumpir. Se utiliza en aquellas partes de una instalación eléctrica en que los relevadores y los interruptores no se justifican económicamente.

Estos dispositivos deben tener la capacidad de cumplir la función de interrumpir circuitos, cuando se produce en ellos una sobre corriente y soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce.

Un juego de fusibles en alta y media tensión, como parte fundamental, está formado por tres polos. Cada uno de ellos, está formado por una base metálica semejante a las utilizadas en los seccionadores, dos columnas de aisladores que pueden ser de porcelana o de resina sintética y cuya altura, fija el nivel básico de impulso a que trabaja el sistema.

Sobre los aisladores se localizan dos mordazas, dentro de los cuales, entra a presión el cartucho de fusibles.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, que está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que está calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente.

2.1.1.10.1. Tipos de fusibles

Considerando la capacidad de ruptura, lugar de instalación, se pueden utilizar diferentes tipos de fusibles, entre los más conocidos están:

- Fusibles de expulsión. Valiéndose de la generación y expulsión de un gas

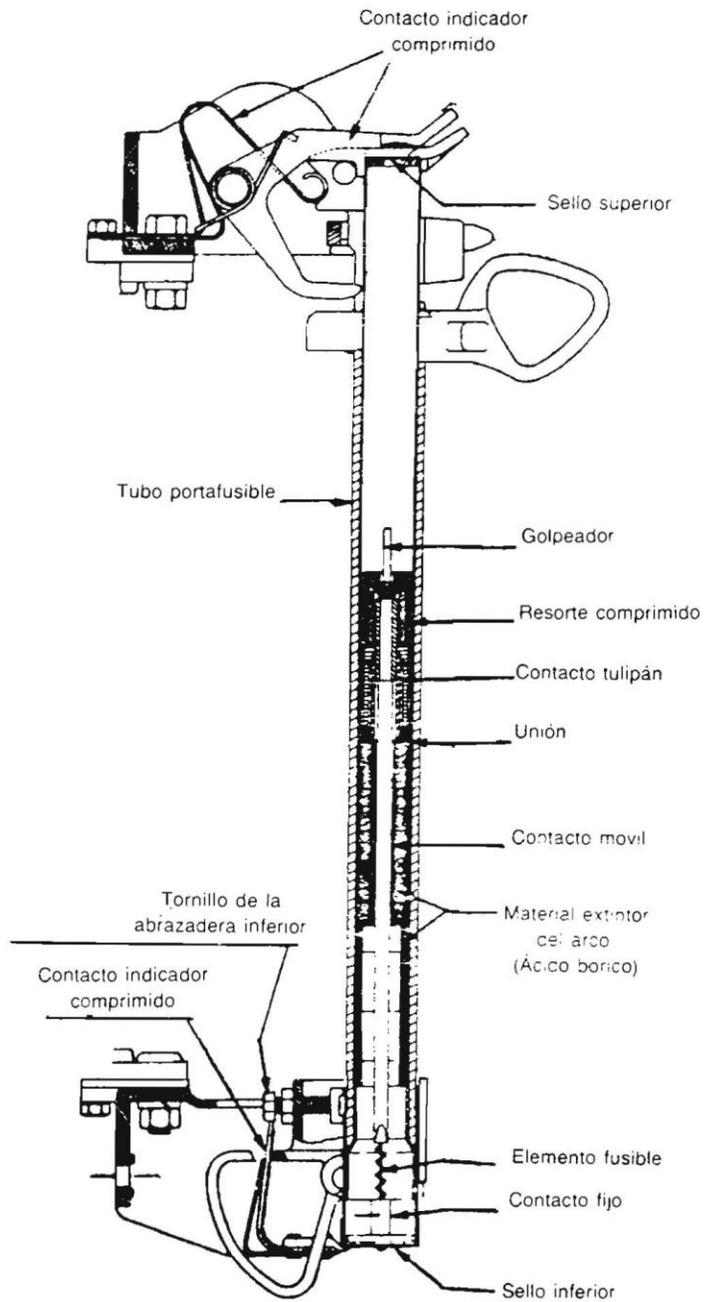
a alta presión que, al ser inyectado, a través del arco producido después de la fusión del elemento fusible. Este tipo de fusible son los de ácido bórico, sustancia que es el elemento generador de gas y que tiene como ventaja que son recargables, utilizando para ello, pastillas de ácido bórico comprimido.

Al fundir el elemento fusible, se produce el arco eléctrico y al quedar libre el fusible, el resorte que estaba comprimido desplaza el contacto móvil, produciendo un alargamiento del arco. A su vez, el arco produce calor y éste provoca una reacción en el ácido bórico, que desprende vapor de agua y óxido de boro. La extinción del arco se logra por la acción desionizadora del vapor y la turbulencia de las partículas del óxido de boro.

- Fusible limitador de corriente. Este tipo de fusible tiene doble acción, por un lado reduce la corriente de falla, debido a la característica de introducir una resistencia elevada en el circuito y por otro, debido al incremento de la resistencia pasa de un circuito de bajo factor de potencia a otro circuito de alto factor de potencia, desfasando el cero normal de la onda de corriente a un punto cercano al cero normal de la onda de tensión.

El elemento fusible más largo que se encuentra dentro de arena de sílice que centra el arco, eleva la presión a lo largo del elemento fusible y produce una elevación momentánea de la resistencia, la cual limita la corriente de corto circuito, limitando así el tiempo de interrupción a un valor que se considera dentro del primer semiciclo de la onda de corriente.

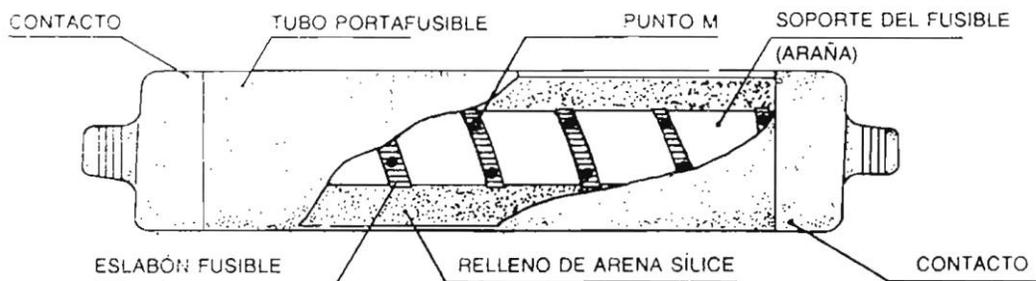
Figura 9. Fusible tipo expulsión



Fuente: MARTÍN, José Raúll. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 107.

Estos fusibles, como no expulsan gases, se pueden instalar en lugares reducidos como tableros y su diseño se limita a que los picos de las sobre tensiones, no pasan de 25 veces el valor nominal, para evitar la operación continúa de los pararrayos del sistema.

Figura 10. **Corte de un fusible limitador de corriente**



Fuente: MARTÍN, José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 108.

2.1.1.11. Banco de tierra

Un banco de tierra consiste en un transformador, que tiene como función principal conectar a tierra el neutro de un sistema y proporcionar un circuito de retorno a la corriente de corto circuito de fase a tierra.

Cuando en un sistema de potencia con el neutro flotante, como en el caso de un circuito alimentado desde la delta de un transformador.

En esta delta del transformador, ocurre un corto circuito de fase a tierra, no hay cambio de regreso para la corriente de corto circuito. El sistema podrá seguir en operación, pero con las otras dos fases al elevar su tensión a un valor mayor a 1.73 p.u. de $\sqrt{3}$ veces el valor de la tensión nominal entre fases; esto ocasiona una sobre tensión permanente a la frecuencia del sistema, que afecta

tanto al transformador como al propio sistema. Para evitar lo anterior, se debe considerar un camino extra para la corriente de regreso a tierra, esta dificultad se elimina al conectar un banco de tierra. Los tipos de bancos de tierra se describen a continuación.

- Transformador de tierra. En una conexión estrella y neutro a tierra en el lado de alta tensión y delta en baja tensión. Se puede considerar un transformador de tres fases, que para un sistema aislado de tierra en 69 kv, puede tener una relación 69/13.8 kv, conexión estrella delta y cuyo devanado de 69 kv, puede utilizarse para alimentar los servicios de estación de la instalación.
- Transformador con conexión tipo zig-zag. Este es un transformador especialmente diseñado para un banco de tierra; su impedancia en secuencia positiva es muy alta, mientras que su impedancia en secuencia cero es baja; el neutro que sale del tanque a través de una boquilla, se conecta solidamente a tierra. El neutro debe soportar durante un minuto, una corriente de 1,800 amperios.

Se debe mencionar, que para ambos tipos de bancos de tierra, las terminales del lado de la estrella o de la conexión zig-zag del banco de tierra de que se trate, se conectan a la red de tierra de la subestación, instalándose en éste un transformador de corriente que energiza las protecciones automáticas, cuando se producen fallas a tierra en el sistema.

2.1.1.12. Banco de capacitores

Generalmente en las instalaciones industriales y de potencia, los capacitores se instalan en grupos llamados bancos.

Los bancos de capacitores de alta tensión, comúnmente se conectan en estrella con neutro flotante y rara vez con neutro conectado a tierra. El que se utilice uno u otro tipo de neutro, depende de la siguiente consideración:

- Conexión del sistema de tierra. En sistemas eléctricos con neutro aislado o conectado a tierra y a través de una impedancia, los bancos de capacitores deben conectarse con el neutro flotante. De esta forma se evita la circulación, a través del banco de capacitores de armónicos de corriente, que producen magnitudes de corriente superiores al valor nominal y que pueden dañar los capacitores.

La principal ventaja de los bancos de capacitores con el neutro flotante, es permitir el uso de fusibles de baja capacidad de ruptura.

- Dispositivos de conexión y desconexión. Las tensiones de recuperación que se presentan entre los contactos de los dispositivos de apertura, son mayores cuando se deja el neutro flotante, que cuando se conecta al neutro a tierra.
- Armónicos. La conexión del neutro a tierra, es un paso para la tercera armónica y sus múltiplos, que tienen la propiedad de causar interferencias en las líneas telefónicas adyacentes.

2.1.1.13. Relevadores de protección

Debido a que los sistemas eléctricos cada vez son más complejos en forma natural y debido a la integración de las redes eléctricas, en muchas ocasiones una interrupción del servicio eléctrico en una duración corta de tiempo, puede resultar catastrófica, por ejemplo: en hospitales, equipo de

soporte de vida, en la industria, en las redes de computadora, sistema de comunicación, etc.

Los relevadores de protección han cambiado los instrumentos electromecánicos, con contactos de disparo hasta los actuales sistemas basados en microprocesadores.

2.1.1.13.1. Las causas de fallas

Cada uno de los elementos que componen un sistema eléctrico de potencia, está sujeto a una falla o corto circuito, los elementos del sistema eléctrico de potencia son: generadores, transformadores, barras, líneas de transmisión y alimentadores de las redes de distribución que alimentan a las cargas. Las causas de las fallas, pueden ser:

- El aislamiento del equipo que está en buenas condiciones, puede estar sujeto a sobre tensiones de corta duración (transitorios), debido a descargas atmosféricas.
- El envejecimiento del aislamiento, el cual puede producir ruptura, aún al valor de voltaje normal a la frecuencia del sistema.
- Corresponde al contacto de un objeto externo, tal como una rama de árbol, cuerdas o cables, roedores, etc., que producen la unión entre dos conductores o bien, un conductor a tierra.

2.1.1.13.2. El propósito de los relevadores de protección

Los relevadores de protección, se usan para detectar las fallas en las líneas o los aparatos e iniciar la operación de los dispositivos de interrupción en los circuitos para aislar los equipos o aparatos en falla.

Los relevadores se usan también para detectar condiciones de operación indeseables o anormales, además de las causadas por el equipo en falla, ya sea que operen una alarma o inicien la operación de los interruptores.

Los relevadores de protección, protegen al sistema eléctrico, desconectando las líneas o equipos en falla, de manera que se reduzca el efecto de la falla y se mantenga la continuidad del servicio en el resto del sistema.

2.1.1.13.3. Tipos básicos de relevadores de protección

Los relevadores de estado sólido o estático, convierten la señal de entrada, que puede ser una corriente, voltaje o potencia, a una señal proporcional en milivoltios en corriente directa, que es aplicada a amplificadores con transistores ajustables. La salida de éstos relevadores, puede ser otra señal de C.D. en milivoltios, para ser aplicada a una lógica de transistores o bien, para el cierre de contactos.

Los relevadores pueden operar:

- En forma instantánea

- Con algún retraso de tiempo definido
- Con un retraso de tiempo que varía con la magnitud de las cantidades, a las cuales el elemento de detección responde.

Los tipos de relevadores se enlistan a continuación:

- Relevador de sobre corriente: este relevador responde a la magnitud de corriente sobre un valor específico, existen tres tipos básicos: electromecánicos, estáticos o de estado sólido y microprocesadores.
- Relevador diferencial: este relevador responde a la diferencia entre dos o más corrientes arriba de un valor específico, es usado para proporcionar protección o fallas internas al equipo, como: transformadores, generadores y barras en las subestaciones eléctricas.
- Relevador de sobrevoltaje: este relevador responde a una magnitud de voltaje por encima de un valor específico.
- Relevador de bajo voltaje: este relevador responde a una magnitud de voltaje por debajo de un valor específico y tiene básicamente la misma construcción que un relevador de sobrevoltaje.
- Relevador de potencia: este relevador responde al producto de la magnitud del voltaje, la corriente y el coseno del ángulo de fase entre el voltaje y la corriente y está ajustado para operar por encima de un valor específico.
- Relevador direccional: este relevador opera únicamente para un flujo de corriente en una dirección dada, es un relevador de sobre corriente, que

se hace direccional agregando una unidad direccional que previene operaciones al relevador de sobre corriente, hasta que la unidad direccional haya sido operada.

- Relevador de frecuencia: este relevador responde a los valores de frecuencia arriba, debajo de un valor específico.
- Relevador térmico: este relevador responde a una temperatura arriba de un valor específico.
- Relevador de presión: este relevador responde a un cambio brusco, en la presión de un fluido o de un gas.

2.1.1.14. Red de tierra

La protección contra sobre tensiones en las subestaciones eléctricas, es importante diseñar e instalar una red de tierra adecuada, que dispone a conectar los neutros de los aparatos, los pararrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

Existe la necesidad de contar con una red de tierra en las subestaciones eléctricas, para cumplir con las siguientes funciones:

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia, para la circulación de las corrientes de tierra, ya sea que se deban a falta de corto circuito o a la operación de un pararrayos.

- Evitar que durante la circulación de éstas corrientes de tierra, puedan producir diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación, significando un peligro para el personal.
- Facilitar mediante sistemas de relevadores, la eliminación de las fallas a tierra en los sistemas eléctricos.
- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico

La conducción de altas corrientes a tierra en instalaciones eléctricas, debidas a disturbios atmosféricos o fallas del equipo, obliga a tomar precauciones para que los gradientes eléctricos o las tensiones resultantes, no ofrezcan peligro a los operadores o en general al personal que labora.

Hay que considerar que intensidades de corriente del orden de miles de amperios, producen gradientes de potencial elevados en la vecindad del punto o puntos de contacto a tierra; además, la circunstancia de que algún ser viviente se apoye en dos puntos, entre los cuales existe una diferencia de potencial, debido al gradiente eléctrico, puede sufrir una descarga de tal magnitud que sobrepase el límite de su contractilidad muscular. En tal situación, la corriente que circula por su cuerpo, aumenta y si por desgracia ésta pasa por un órgano vital como el corazón, puede provocar fibrilación ventricular y sobrevenir la muerte.

2.1.1.14.1. Sistemas básicos de las redes de tierra

Para las redes de tierra, se consideran básicamente tres sistemas:

- Sistema radial. Es el más económico, pero el menos satisfactorio, ya que al producirse una falla en un aparato, se producen grandes gradientes de potencial. En este sistema se usan uno o varios electrodos se conectan las derivaciones a cada aparato.
- Sistema de anillo. Este sistema se forma colocando en forma de anillo un cable de cobre de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la subestación eléctrica y conectando derivaciones a cada aparato, mediante un cable más delgado. Es un sistema económico y eficiente, en él se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos disminuyen al disiparse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.
- Sistema de red. Es el sistema más utilizado actualmente y consiste como su nombre lo indica, en una malla formada por cable de cobre conectada a través de electrodos de varillas de *copper weld* a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad. Este sistema es el más eficiente, pero económicamente es el más alto.

2.1.1.15. Baterías

Se llama batería a un conjunto de celdas conectadas en serie, la tensión nominal de la batería viene dada por la suma de las tensiones de cada una de las celdas.

2.1.1.15.1. Tipos de baterías

- Batería de tipo ácido: en este tipo de batería las placas están formadas por dióxido de plomo. Cuando se utiliza una batería con placa

multitubular, está formada por una hilera de tubos fabricados con malla de fibra de vidrio trenzada, dentro de las cuales se introduce una varilla de aleación de plomo. Al unir todos los tubos en su parte superior, queda formada la placa. Este método tiene la ventaja de producir mayor energía por unidad de peso, además, evitar la sedimentación del material activo, por lo que llega a tener una duración de hasta veinte años.

La placa negativa es plana y está formada por plomo puro. Al cerrarse el circuito exterior de la batería, comienza la liberación de la energía eléctrica almacenada y el sulfato del electrolito se combina con el plomo contenido en las placas, transformándose en sulfato de plomo y diluyéndose el electrolito, cuando se invierte el circuito de nuevo y comienza a cargarse la celda, ésta absorbe energía eléctrica, restituye el sulfato al electrolito y regresa al estado original.

- **Batería de tipo alcalino:** en este tipo de batería su descripción es igual que las de tipo ácido, utiliza celdas de níquel – cadmio. La placa positiva está formada por una hilera de tubos de malla de acero, que contiene hidróxido de níquel. La placa negativa es igual que la placa positiva, con la diferencia que está rellena de óxido de cadmio, el cual se reduce a cadmio metálico durante el proceso de carga. En una solución de hidróxido de potasio, con una densidad que oscila entre 1.6 y 1.9 a 25 °C. Durante los veinticinco años, en promedio, que dura la vida de éstas celdas, se hace necesario cambiar el electrolito unas tres veces, debido al envejecimiento que se produce por dióxido de carbono de la atmósfera.

2.1.1.16. Cargadores de batería

Estos son dispositivos eléctricos o electrónicos, que se utilizan para

cargar y mantener en flotación, con carga permanente, la batería de que se trate.

La capacidad de los cargadores va a depender de la eficiencia de la batería, del tipo de batería que se adquiera. Para una misma demanda impuesta a la batería, se necesita un cargador de mayor capacidad, si es alcalina, por tener ésta una eficiencia menor.

Los cargadores de batería de tipo electrónico, tienen la ventaja sobre los otros cargadores (los equipos motor – generador) de ser más baratos y tener la tensión de salida menor regulada, lo cual aumenta la vida útil de la batería, tiene menor peso y su mantenimiento es muy reducido. La regulación de la tensión de salida (corriente directa), debe ser de 1 % del valor ajustado para la tensión de carga flotante, con una variación de carga entre 0 y 100 %.

2.1.1.17. Reactores

Los reactores son bobinas que se utilizan para limitar una corriente de corto circuito y disminuir de esta forma la capacidad interruptiva de un interruptor. Otra función de los reactores es la corrección del factor de potencia en líneas muy largas, cuando circulan corrientes de carga muy bajas, para este caso, los reactores deben instalarse en derivación.

Para el caso de subestaciones, los reactores se utilizan principalmente en el neutro de los bancos de transformadores, para limitar la corriente de corto circuito a tierra. También se utilizan en serie con cada una de las tres fases de algún transformador, para limitar la corriente de corto circuito trifásica.

Los reactores, según su capacidad, pueden ser de tipo seco, para

potencias reactivas pequeñas o sumergidas en aceite; para potencias elevadas, en cuyo caso tienen, núcleo y necesitan estar encerradas en un tanque de lámina, sus terminales salen a través de boquillas de porcelana y necesitan a veces sistemas de eliminación de calor generado por las pérdidas internas del aparato.

2.1.1.18. Descargadores

Es un aparato diseñado para proteger el material eléctrico contra sobre tensiones transitorias elevadas y/a limitar la duración y comúnmente la amplitud de la corriente. Los descargadores están formados esencialmente, por un espinterómetro y un elemento limitador de corriente. Se considera que forma parte del descargador todo el espinterómetro en serie, necesario para el correcto funcionamiento del aparato en condiciones de servicio.

2.1.1.18.1. Tipos de descargadores

Los descargadores de óxido de zinc, son los más modernos y su efecto puede ser comparado al de los diodos zener.

- Descargadores de resistencia variables: en este tipo de descargadores, la descarga inicia en el espinterómetro, la corriente crece a valores elevados y luego disminuye, siendo limitada por el resistor cuya resistencia aumenta con la disminución de la corriente, finalmente en el mismo espinterómetro se produce la interrupción.
- Descargadores a expulsión: en este tipo de descargadores están compuestos por una cámara de interrupción en la cual el arco es

confinado, entra en contacto con un material que desprende gas y el arco se apaga, produciéndose así la interrupción de la corriente.

2.2. Subestaciones eléctricas secundarias 225, 500, 750 y 1000 kva, 13.8 kv/480 voltios

Las subestaciones de alto / bajo voltaje HV / LV, es decir, 13.8 kv, en el lado de alta tensión y 480 voltios en el lado de baja tensión, se construyen de acuerdo a la magnitud de la carga y al tipo de sistema de potencia. Las subestaciones eléctricas secundarias, como fueron llamadas en este caso, por ser parte de subestaciones utilizadas para el equipo periférico de la planta, es decir, bombas, aire, *chiller*, torres de enfriamiento, etc., se pueden clasificar de acuerdo con el arreglo de medición en alto o en bajo voltaje y el tipo de alimentación eléctrica, (líneas aéreas o cables subterráneos). Para este caso en particular, se considera una sola forma de instalación para las subestaciones de 225, 500, 750 y 1000 kva, puesto que ambas tienen el mismo tipo de montaje eléctrico.

Las subestaciones pueden instalarse en interiores, en cuartos especialmente diseñados para ello, dentro de un edificio o una subestación en el exterior con equipo que soporte la intemperie (equipo de *switches* y transformadores). También se pueden montar en poste las unidades de transformadores.

2.2.1. Subestaciones eléctricas instaladas en el exterior

Es importante tener conocimiento de todas las condiciones necesarias para estas subestaciones, por lo que a continuación se detallan algunas características

2.2.1.1. La subestación

Para establecer una ubicación a la subestación eléctrica, es importante verificar como se va a proveer la energía eléctrica, para una conexión en media tensión, hay que considerar:

- La empresa de distribución de energía eléctrica, construye una subestación cerca del consumidor, pero los transformadores de alto/bajo voltaje, se encuentran dentro de la instalación cerca del centro de carga.
- El consumidor construye y equipa su propia subestación, dentro de su propio establecimiento y la empresa proveedora hace la conexión de alto voltaje (HV).

Se debe considerar en una subestación los siguientes elementos básicos:

- Determinar la demanda de potencia aparente máxima
- Planos de diseño y elevación mostrando la ubicación de la subestación
- El grado de continuidad del servicio
- El tipo de suministro de potencia propuesto, ya sea con cables expuestos o subterráneos.
- Detalle de la conexión del servicio, servicio monofásico o trifásico, alimentándose en paralelo, etc.
- Límite de potencia kva y corriente de falla
- El voltaje nominal de servicio y futuro
- Realizar un diagrama unifilar de los circuitos de potencia y las conexiones, junto con la propuesta de circuitos a tierra.
- Detalle completo del equipo a instalar, incluyendo características de desempeño.

- Arreglos para el mejoramiento del factor de potencia, en caso de ser necesario.
- Arreglos para la instalación y montaje de planta de emergencia, en caso de ser necesario.

2.2.1.2. Subestaciones en exteriores

En una subestación en bajo voltaje típica, los circuitos de distribución se originan en un tablero de *switches* principal, por medio de los cuales, los conductores alimentan las cargas a través de tableros de subdistribución o de distribución final, normalmente se utilizan tres niveles de distribución, para alimentar a las cargas en fábricas medianas o grandes:

- Distribución del tablero de *switches* principal. En este nivel la potencia de los transformadores de medio voltaje a bajo voltaje MV / LV conectados a la red, son distribuidos a las diferentes áreas de la planta, así como también se distribuye a las cargas centralizadas de alto consumo de potencia.
- Subdistribución usada para distribuir electricidad dentro de un área
- Distribución final, para alimentar las diferentes cargas

2.2.1.2.1. Subestaciones con gabinete

Normalmente se utilizan subestaciones con gabinete contra el medio ambiente y también en subestaciones, que requieren el uso de unidades de anillo principal o la que requieren un tablero de *switches* de varios cortacircuitos. Estas unidades prefabricadas, requieren el mínimo de trabajo civil, se montan en una simple base de concreto y se usan tanto para

subestaciones urbanas, como en rurales. Dentro de las ventajas ofrecidas por éstas unidades están:

- Optimización de materiales y seguridad, al ofrecer una gran variedad de gabinetes disponibles y en conformidad con todos los estándares internacionales.
- Una reducción en el tiempo de estudio y diseño en el costo de implementación, al ofrecer una realización independiente del edificio principal, una simplificación del trabajo civil e instalación simplificada del equipo.

2.2.1.2.2. Subestaciones sin gabinete

En este tipo de subestación, está provisto de equipo de protección contra el medio ambiente. Comprende un área cercada donde se instalan tres o más bases de concreto:

- Para una unidad de anillo principal, una o más unidades de fusibles o corta circuitos.
- Para uno o más transformadores
- Para uno o más paneles de distribución de bajo voltaje LV

2.2.2. Transformador tipo subestación trifásico

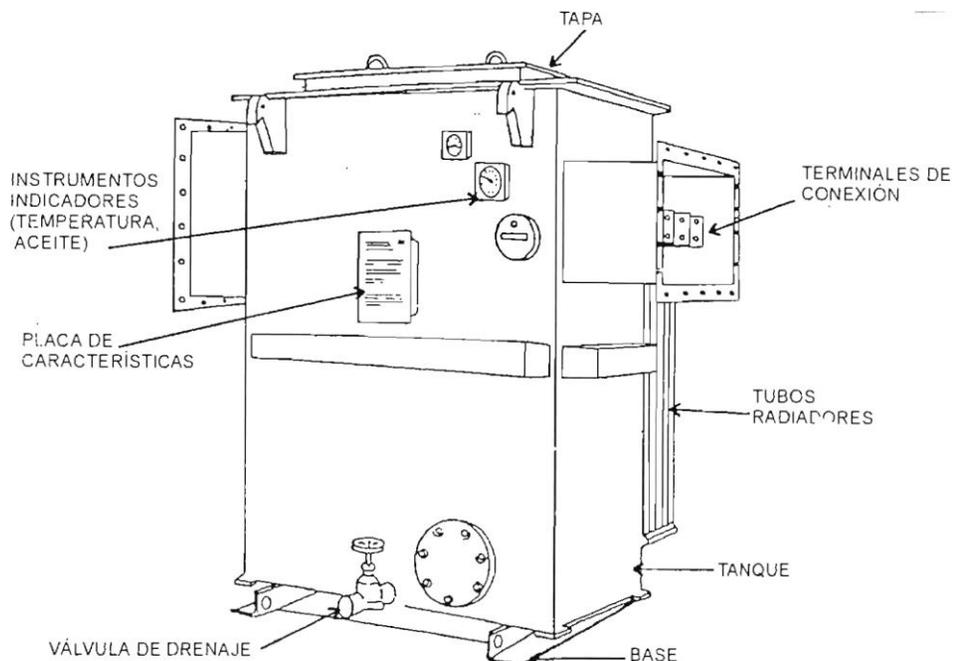
El transformador es un dispositivo que transfiere energía de un circuito eléctrico a otro sin cambio en la frecuencia. La energía se transfiere por medio de un campo magnético.

2.2.2.1. Transformador trifásico

Los transformadores trifásicos en general convierten la energía eléctrica a los voltajes primarios más utilizados (2.4 a 34.5 kv), a los voltajes secundarios más comunes (120 a 600 voltios).

En la práctica, los transformadores trifásicos tipo subestación, se aplican en sistemas con acometida aérea, generalmente en centrales eléctricas de generación y distribución, se encuentran disponibles en el mercado en capacidades desde 225 kva hasta 2000 kva, con niveles de voltaje de 15, 25, 34.5 kv; además, son fabricados como transformadores elevadores o también como reductores, según sea la aplicación. Estos transformadores están sumergidos en aceite dieléctrico.

Figura 11. Transformador trifásico tipo subestación



Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Guilberto Fundamentos de Instalaciones Eléctricas. p. 29.

Tabla VI. **Voltajes y potencias para transformadores trifásicos**

Valores en alta tensión (V)	Valores en baja tensión (V)						34 500 36 230 estrella a tierra /19 920 36 230 estrella a tierra /20 920
	2400,2520	4800,5040	12 470Y/7200	13 090Y/7560	13 200Y/7620	12 000,12 600	
480Y/277	4160Y/2400	8320Y/4800	13 200Y/7620	12 000,12 600	24 940 estrella a tierra /14	400	
480	4360Y/2520	8720Y/5040	13 800Y/7970	13 200, 14 400	Capacidad en KVA		
2400	750-1500						
4160,4800	750-1500						
6900,7200	750-2500	1000-3750					
12 000	750-2500	1000-7500					
13 200							
13 800							
22 900		1000-7500	1000-10 000	1000-10 000			
34 400		1000-7500	1000-10 000	1000-10 000	1000-10 000		
43 800*		1500-7500	1500-10 000	1500-10 000	1500-10 000		
67 800		1500-7500	1500-10 000	1500-10 000	1500-10 000		
115 000		5000-7500	5000-10 000	5000-10 000	5000-10 000	5000-10 000	5000-10 000
138 000		5000-7500	5000-10 000	5000-10 000	5000-10 000	5000-10 000	5000-10 000

Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Guilberto Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas. p. 145.

La siguiente tabla muestra, los valores de voltajes y capacidades de transformadores trifásicos, que se encuentran en la práctica.

2.2.2.2. Características para instalación

Es importante hacer una inspección visual previo, del lugar donde se instalará el transformador y verificar que se fabricó de acuerdo a los planos y datos solicitados a fábrica, que tenga las dimensiones apropiadas, que la base donde se colocará, este perfectamente nivelada y que exista buena ventilación.

Verificar que el transformador construido, cumpla con las normas vigentes, con los requerimientos de uso y que el área donde se instalará, tenga previsto como drenar en tiempo de invierno. El sistema de aterrizado debe ser

efectivo de acuerdo a normas; en general, que se encuentre con todo lo que permita una operación eficiente y un mantenimiento efectivo.

Los accesorios móviles como los derivadores de *taps*, válvulas de drenaje, etc., no deben estar bloqueados, las palancas o perillas deben verificarse su movilidad. Hay que cerciorarse que el cambiador de *taps*, esté en la posición correspondiente a la tensión de la línea de alimentación.

Verifique que los fusibles instalados sobre el devanado primario, se encuentran en buen estado.

2.2.2.3. Pruebas básicas al transformador

Es recomendable antes de poner en servicio el transformador, realizar las siguientes pruebas básicas para garantizar el buen estado y funcionamiento del equipo.

2.2.2.3.1. Resistencia de aislamiento (Megger)

Se recomienda realizar pruebas de resistencia eléctrica de los aislamientos al transformador, para verificar la condición de los mismos, entre partes vivas y tierra, deben tener como mínimo 1000 MΩ / kv a 20 °C.

2.2.2.3.2. Relación de transformación

La prueba de relación de transformación con el T.T.R., en todas las posiciones del cambiador de *taps* y para cada una de las fases. Se debe considerar aceptable el valor de relación, si éste no exceda el + / - 0.5 %.

2.2.2.3.3. Rigidez dieléctrica del aceite

Se debe tomar una muestra del aceite dieléctrico de la válvula de muestreo, provisto para ese fin. La rigidez dieléctrica para el aceite dieléctrico, debe ser como mínimo 30 kv, utilizando preferentemente probador de electrodos planos.

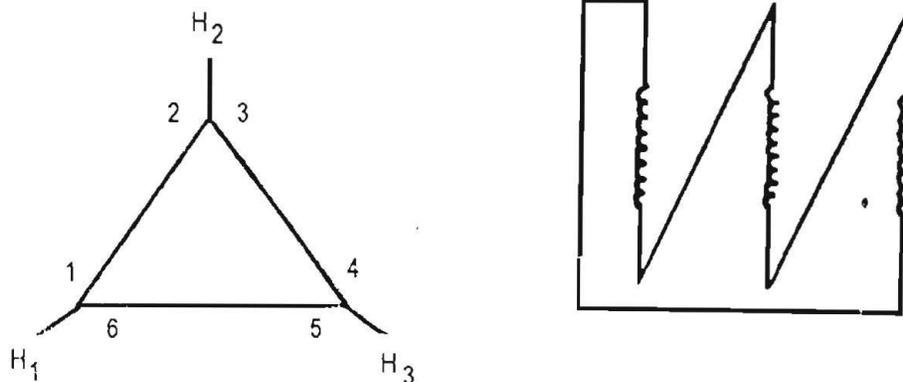
2.2.3. Conexión del transformador

En la práctica, existen diferentes grupos de conexiones para transformadores trifásicos, a continuación se mencionan las conexiones básicas que más se utilizan.

2.2.3.1. Conexión delta – delta

La conexión delta – delta en transformadores trifásicos, se emplea normalmente en lugares donde existen tensiones relativamente bajas, en sistemas de distribución se utiliza para alimentar cargas trifásicas a 3 hilos.

Figura 12. Conexión delta – delta en transformadores

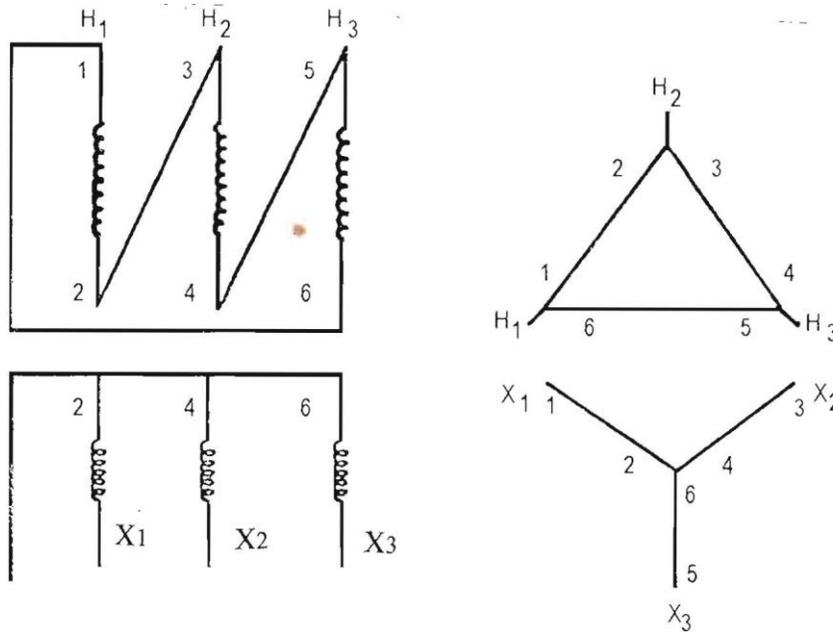


Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas. p.41

2.2.3.2. Conexión delta – estrella

La conexión delta – estrella se emplea en aquellos sistemas de transmisión donde, es necesario elevar voltajes de generación. En sistemas de distribución es conveniente su uso, debido a que se pueden tener 2 voltajes diferentes (entre fase y neutro).

Figura 13. Conexión delta – estrella en transformadores



Fuente: Enríquez Harper, Gilberto. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas. p. 41

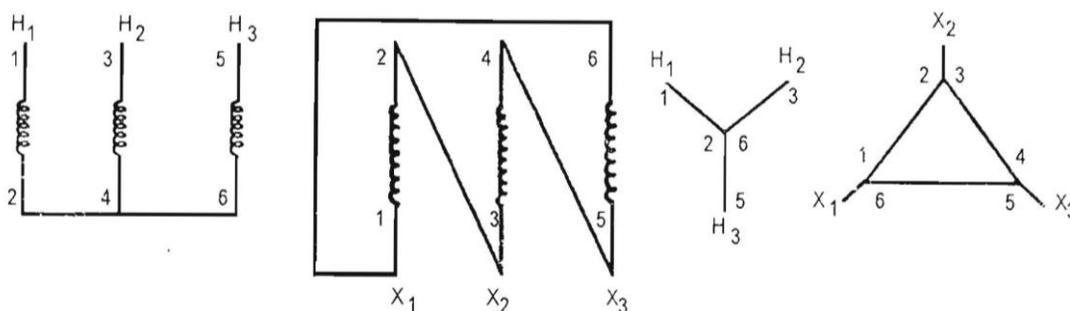
2.2.3.3. Conexión estrella – estrella

Esta conexión se emplea en tensiones muy elevadas, porque disminuye la cantidad de aislamiento. Tiene la desventaja de no presentar oposición a las armónicas impares, en cambio puede conectarse a hilos de retorno.

2.2.3.4. Conexión estrella – delta

Esta conexión se emplea en los sistemas de transmisión de las subestaciones receptoras, cuya función es reducir voltajes. En sistemas de distribución es poco usual, (ver figura 14 y tabla VII).

Figura 14. Conexión estrella – delta en transformadores



Fuente: ENRÍQUEZ HARPER. Gilberto. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas. p. 45.

2.2.4. Acometida eléctrica en media tensión en 13.8 kv

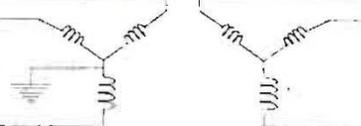
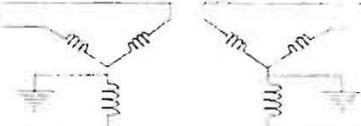
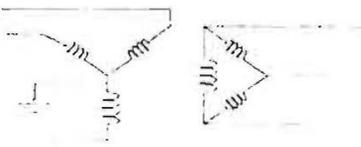
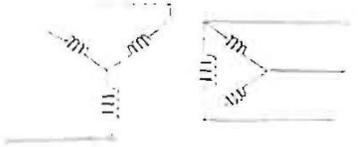
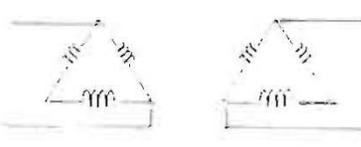
En este caso en particular, la acometida eléctrica se instala en forma aérea, recibiendo las líneas de media tensión con un nivel de voltaje de 13.8 kv.

2.2.4.1. Montaje de poste

Normalmente se lleva el poste desde el lugar de apilamiento, hasta el lugar donde finalmente será montado, los linieros se sitúan en fila, según la altura de los hombros, con objeto de que la carga pueda distribuirse uniformemente. De acuerdo con las órdenes de mando, el poste se sostiene

primero con los brazos y se levanta, después de forma que los linieros lo lleven sobre el mismo hombro. Cuando el poste se baja al suelo se sigue el proceso inverso, no debe dejarse caer el poste al suelo, pues esta operación resulta peligrosa para el personal y puede dañarse el poste.

Tabla VII. **Conexiones típicas de transformadores**

CONEXIÓN Y SÍMBOLO	DIAGRAMA
ESTRELLA ATERRIZADA / ESTRELLA 	
ESTRELLA ATERRIZADA / ESTRELLA ATERRIZADA 	
ESTRELLA ATERRIZADA / DELTA 	
ESTRELLA / DELTA 	
DELTA / DELTA 	

Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de Instalaciones Eléctricas. p. 44.

Antes de montar el poste en su agujero correspondiente, se armará completamente en el suelo, instalando todos los herrajes y cruceros. Cuando los postes a montar son de concreto, es recomendable usar equipo especial, debido al peso y facilidad de daño que tienen.

Entre el equipo utilizado en estos casos, se encuentran las torres armables sostenidas con tirantes o los camiones con plumas hidráulicas, las que levantan el poste y lo introducen en el agujero, teniendo los linieros el cuidado de orientar los agujeros que tienen el poste hacia la posición correcta.

2.2.4.2. Cables primarios

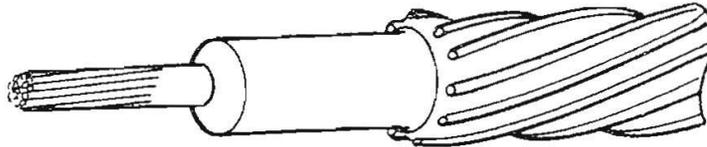
Los cables primarios URD (Underground Residencial Distribution), son casi en su totalidad del tipo de un solo conductor con neutro concéntrico, en el que se emplea aislamiento de polietileno o de polietileno degradado.

El proceso de degradación del polietileno, lo convierte en un material termo fijo que no tiene un punto de fusión. El conductor central, es el conductor energizado de fase y los alambres exteriores concéntricos, sirven de neutro.

La corrosión de los alambres neutros concéntricos de cobre, da por resultado que se reduzca el área de la sección transversal de esos alambres, con esto se incrementa su resistencia.

En algunos casos, se destruye la continuidad de los alambres. La corrosión del neutro puede causar problemas de seguridad y de operación entre el conductor céntrico y el concéntrico (neutro) del cable URD.

Figura 15. **Cable primario (URD) con neutro concéntrico**



Fuente: FINK, Donald G. Manual de Ingeniería Eléctrica. p. 18-14.

2.2.4.3. Bajada aérea primaria de tres fases

En una bajada aérea eléctrica primaria, luego de instalar el poste, se procede a instalar todos los herrajes para completar la acometida. Mediante el proceso de montaje y construcción de la acometida, es importante considerar lo siguiente:

- Montaje de transformador tipo subestación
- Cimentación para colocar el transformador, zanjas y registros según lo requerido.
- Abrir agujero y montaje del poste de 35 pies de largo, clase 750
- Montaje de crucero e instalar corta circuitos y pararrayos
- Canalización y cableado de acometida en 13.8 kv (del poste al transformador).
- Instalar rack primario y mufas
- Conexiones en alta y baja tensión del transformador
- Canalización y cableado de acometida en baja tensión, 480 voltios
- Instalación de flipón principal en salida de *bushings* secundarios en transformador.
- Instalación de sistema de tierra

- Canalización y cableado del poste al transformador con cable URD 1/0 para 15 kv de aislamiento.

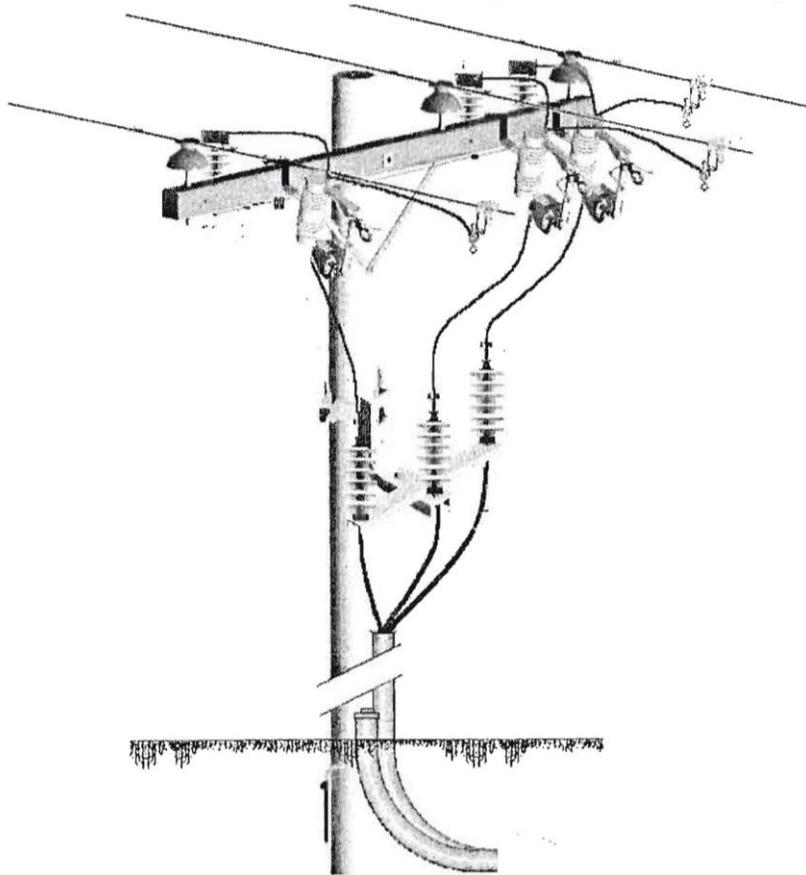
Dentro de los herrajes instalados en la acometida aérea primaria están, (ver figura 16):

- 1 montura para terminación exterior
- 3 cortacircuitos de 15 kv, 100 amperios
- 3 pararrayos de 10 kv de óxido de zinc para distribución
- 1 abrazadera doble de 7" a 9"
- 3 aisladores de porcelana tipo pin
- 3 estribos universales para cable 1/0
- 3 grapas de rosca universal
- 1 varilla para conectar a tierra.
- 3 terminación exterior para cable 1/0, 15 kv, URD
- 3 terminal para terminación exterior
- 2 tapones cónicos de 5 "
- 4 conectores de compresión WR 159
- 18 metros de cable de cobre de THHN 4, sin forro

2.2.5. Tableros de distribución

El tablero de distribución, es el punto donde la entrada de la fuente de potencia, se divide en circuitos separados, donde cada uno de estos circuitos está controlado por los fusibles o equipo de *switcheo* del tablero.

Figura 16. **Bajada típica primaria para cable 1/0, 15 kv**



Fuente: Información técnica. Catálogo de Empresa Eléctrica

2.2.5.1. Sistema de instalación

Un tablero de distribución se divide en un número de unidades funcionales, cada uno compuesto de elementos mecánicos y eléctricos para cumplir con alguna función. Consecuentemente, el tipo de tablero de

distribución, debe estar perfectamente adaptado para su aplicación. Su diseño y construcción debe cumplir con los estándares que apliquen.

Los tableros de distribución ofrecen dos tipos de protección:

- Protección de equipo de *switcheo*, instrumentos de indicación, fusibles, etc., contra impactos mecánicos, vibraciones y otras influencias externas, que pueden interferir con la operación, es decir, polvo, humedad, plagas, etc.
- La protección de vidas humanas, contra la posibilidad de contacto directo o indirecto con componentes eléctricos.

2.2.5.2. Tipos de tableros de distribución

Los tableros de distribución, varían de acuerdo al tipo de aplicación y el diseño adoptado.

Los tipos principales de tableros de distribución son:

- Tablero principal de bajo voltaje LV
- Centro de control de motores MCC
- Tableros de sub-distribución
- Tableros de distribución final

Además, se pueden mencionar otros tipos de tableros de distribución:

- Tableros de distribución tradicionales. En este tipo de tablero, el equipo de *switcheo* y los fusibles o relevadores, se localizan en el *chasis*, en la parte posterior del tablero y los instrumentos de indicación (lámparas,

indicadores, botones, etc.), están montados en la parte de enfrente del tablero.

- Tableros de distribución funcional. Se utilizan para aplicaciones especiales, están compuestos de módulos funcionales, que incluyen dispositivos de *switcheo* junto con accesorios estandarizados para el montaje y las conexiones. Estos tableros de distribución se usan mucho en los niveles de bajo voltaje de distribución debido a sus múltiples ventajas:
- Modularidad del sistema, que hace posible integrar numerosas funciones en un sólo tablero, incluyendo protección, control, etc.
- El diseño del tablero de distribución, es más rápido ya que simplemente involucra agregar módulos funcionales.
- Los componentes prefabricados, se pueden montar más fácilmente

2.2.5.3. Definiciones de cables

- Conductor: Un conductor está compuesto de un núcleo metálico único, con o sin aislamiento.
- Cable: Un cable está compuesto de un número de conductores separados eléctricamente, pero unidos mecánicamente.
- Cable carril: El término cable carril se refiere a conductores y/o cables juntos, con medios para protección y soporte.

2.2.5.4. Identificación de conductores

La identificación de conductores debe, respetar tres reglas básicas:

- El color doble amarillo y verde, está reservado estrictamente para los conductores de protección.

- Cuando un circuito comprende un conductor neutro, éste debe ser azul claro o marcado 1 para circuitos con más de cinco conductores. Cuando el circuito no tiene un conductor neutro, el conductor azul claro puede usarse como un conductor de fase, si es parte de un cable, con más de un conductor.
- Los conductores de fase pueden ser de cualquier color, excepto: verde, amarillo y verde, amarillo y azul y azul claro.

Además, se puede mencionar: si un circuito incluye un conductor de protección y si el cable disponible, no contiene un conductor verde y amarillo, el conductor de protección puede ser:

- Un conductor verde amarillo separado
- Un conductor negro, si el circuito tiene un conductor neutro

2.2.5.5. Distribución e instalación

La distribución se lleva a cabo por medio de cable carriles que llevan conductores aislados o cables que incluyen un sistema para el montaje y la protección mecánica. Los métodos de instalación dependen de el tipo de conductor o cable y el sistema de montaje o cable carril. Los métodos de instalación están enlistados en el estándar IEC y tienen un impacto en la corriente permisible que los conductores o cables pueden llevar en los cables carriles.

2.2.6. Red de tierra

Algunos de los aspectos de la seguridad eléctrica, se indican para fines prácticos en el reglamento de instalaciones eléctricas, entre otras cosas, se

incluye un aislamiento apropiado para los conductores y una protección contra sobre corriente en los circuitos. Otro aspecto considerado en la seguridad de los sistemas eléctricos, es la conexión a tierra de los mismos y de los equipos.

Un sistema adecuado de puesta a tierra debe tener una resistencia de tierra tan bajo como sea posible. En realidad es virtualmente imposible mantener los potenciales de tierra dentro de las tolerancias de seguridad, cuando las corrientes de falla son muy intensas.

2.2.6.1. Definiciones

El término aterrizado se define como conectado a tierra o algún cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra. Los cuerpos conductores que sirven en lugar de la tierra incluyen tubos *conduit*, gabinetes y equipos de conexión a tierra, que son una extensión de la tierra.

La tierra, es un conjunto, se clasifica propiamente como un conductor y por conveniencia se supone su potencial como cero. La resistencia de la tierra varía de acuerdo a su composición, dentro de un rango muy amplio de un lugar a otro. La temperatura del suelo y el contenido de humedad, son otros factores que tienen también una gran influencia en la resistencia del suelo.

Un objeto metálico se conecta a tierra, conectándolo por medio de un electrodo de aterrizamiento y/o un conductor a tierra del equipo, entonces se fuerza a tener el mismo potencial cero de tierra.

Cualquier intento de elevar o bajar el potencial del objeto con respecto a tierra, da como resultado la circulación de una corriente, que pasa a través de la conexión a tierra, hasta que el potencial del objeto y el de la tierra se igualen.

2.2.6.1.1. Circuito de retorno a tierra

Es un circuito en el cual la tierra o un cuerpo conductor equivalente, es utilizado para completar el circuito y permitir la circulación de corriente desde o hacia la fuente de corriente.

2.2.6.1.2. Tierra

Es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por lo cual un circuito eléctrico o equipo es conectado a la tierra o a algún cuerpo conductor relativamente grande que sirve en lugar de la tierra.

2.2.6.1.3. Aterrizado

En un sistema, circuito o aparato referido a tierra con el propósito de establecer un circuito de retorno a tierra y para mantener su potencial en aproximadamente el potencial de tierra.

2.2.6.1.4. Corriente de tierra

Es una corriente que fluye hacia o desde la tierra.

2.2.6.1.5. Corriente de falla a tierra simétrica inicial

El valor de rms máximo de corriente de falla a tierra de primer ciclo (I_f o $3 I_o$).

2.2.6.1.6. Factor de decremento (Df)

Con un factor de ajuste usado junto con la corriente de falla a tierra simétrica inicial, en los cálculos de tierra orientados a seguridad. Permite obtener un equivalente rms de la onda de corriente asimétrica, para una duración de falla dada, para tomar en cuenta el efecto de off set de C.D. inicial y su atenuación durante la falla.

2.2.6.1.7. Corriente de falla asimétrica efectiva (If)

Es el valor rms de la onda de corriente asimétrica, integrada en el tiempo de duración de la falla.

$$IF = Df \times If \quad (2-1)$$

2.2.6.2. Disposiciones básicas de las redes de tierra

Para las redes de tierra, se han considerado básicamente tres sistemas:

- Sistema radial. Este sistema es el más económico, pero el menos satisfactorio ya que al producirse una falla en un aparato, se producen grandes gradientes de potencial. Este sistema consiste en uno o varios electrodos, a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato.
- Sistema de anillo. Este sistema se forma colocando en forma de anillo un cable de cobre de suficiente calibre (aprox. 1000 MCM), alrededor de la superficie ocupada por el equipo o aparato y conectando derivaciones a cada aparato, mediante un cable más delgado (500 MCM o 4/0 AWG).

Es un sistema económico, eficiente y en él se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos disminuyen al disiparse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.

- Sistema de red. El sistema de red es el más usado actualmente en nuestro sistema eléctrico y consiste, como su nombre lo indica, en una malla formada por cable de cobre (aprox. 4/0 AWG) conectada a través de electrodos de varillas de *copper weld* a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad. Este sistema es el más eficiente, pero es el más alto económicamente.

2.2.7. Recurso energético

La energía, un recurso fundamental para el progreso y la expansión industrial, no escapa a la tendencia del incremento de su costo, pues es el recurso energético más usado, los hidrocarburos, presentan una situación de agotamiento gradual que lo hace día a día más costoso. En vista de esta situación, se ha llevado a la industria eléctrica a la definición de políticas que conlleven a un uso más racional y eficiente de la energía eléctrica.

Una de las medidas al alcance de la industria es conocer el grado de eficiencia con el cual se está utilizando dicha energía, con el se ha considerado el factor de potencia.

2.2.7.1. Eficientización del factor de potencia

Todas las máquinas y dispositivos inductivos (electromagnéticos), que operan en sistemas de corriente alterna (A.C.) convierten energía eléctrica, en

trabajo mecánico y calor. Esta energía establece campos magnéticos en las máquinas y éstos campos, están asociados con otra forma de energía suministrada por el sistema de potencia, conocida como energía reactiva.

En los elementos capacitivos en paralelo, en un sistema de potencia ocurre un fenómeno similar, la energía se almacena electrostáticamente. El ciclo de carga y descarga de circuitos capacitivos reacciona en los generadores del sistema, en la misma manera que los dispositivos inductivos, pero el flujo de corriente de un circuito capacitivo, está en oposición exacta de fase al de un circuito inductivo. Esta es la característica base, que dependen los esquemas de mejoramiento del factor de potencia.

La potencia (kw) asociada con la energía activa, se representa por la letra P. La potencia reactiva (kvar) se representa por la letra Q. La potencia inductiva reactiva es convencionalmente positiva (+ Q) mientras la potencia reactiva capacitiva, se representa por (- Q). La potencia aparente S (kva) es una combinación de P y Q. Todos los equipos y dispositivos conectores en corriente alterna que incluyen partes electromagnéticas o que dependen de embobinados acoplados magnéticamente, requieren de cierto grado de corriente reactiva para crear el flujo magnético. Los tipos de equipos más comunes con esta característica son los transformadores, reactores, motores, lámparas de descarga (con balastos magnéticos).

2.2.7.2. Factor de potencia

El factor de potencia de una carga que puede ser, sólo un elemento que consume potencia o un grupo de elementos, es dada por la relación P/S o kw/kva , en cualquier tiempo dado. El valor del factor de potencia, varía entre 0 y

1. Si las corrientes y voltajes son señales perfectamente senoidales, el factor de potencia es:

$$F. P. = \cos \Phi \quad (2-2)$$

Un factor de potencia cercano a la unidad, indica que la energía reactiva es pequeña comparada a la energía activa, mientras que un valor bajo indica lo contrario. El mejoramiento del factor de potencia reduce las pérdidas ($P(kw)$) en los cables. Las pérdidas en los cables, son proporcionales al cuadrado de la corriente. La reducción de la corriente por un 10 % aproximadamente, reducirá las pérdidas en casi un 20 %.

El mejoramiento del factor de potencia también reduce o inclusive cancela la corriente inductiva reactiva en los conductores, por consiguiente, reduciendo o eliminando la caída de voltaje. Al mejorar el factor de potencia de una carga alimentada por un transformador, la corriente a través del transformador se reducirá, permitiendo así a agregar más carga. En la práctica puede ser más económico mejorar el factor de potencia, que reemplazar el transformador por una unidad más grande.

2.2.7.3. Principios para mejorar el factor de potencia

Para mejorar el factor de potencia, se debe agregar un banco de capacitores en paralelo a la carga, su corriente inductiva (capacitiva) tomará el mismo camino por el sistema de potencia, que el de la corriente reactiva de la carga. Esta corriente capacitiva I_c (que se adelanta al voltaje del sistema por 90 grados), está en oposición de fase directa a la corriente inductiva de la carga (I) y las dos componentes circulando por el mismo camino, se cancelarán a si

mismas. Si el banco de capacitores es suficientemente grande $I_c = I$, no habrá flujo de corriente reactiva en el sistema.

Ejemplo: Con los siguientes datos, calcular el banco de capacitores.

Factor de potencia actual: 61.36 %

Potencia reactiva actual: 148.74 kvar

Factor de potencia deseado: 85 %

Potencia real actual: 115.59 kw

Fórmula a utilizar: $Q_c \text{ (kvar)} = P \text{ (kw)} \times (\text{tg } \theta_1 - \text{tg } \theta_2)$ (2-3)

Donde:

$\text{tg } \theta_1$ = al valor de la tangente del ángulo del factor de potencia actual

$\text{tg } \theta_2$ = al valor de la tangente del ángulo del factor de potencia deseado

Solución:

Quando se tiene en un centro de carga un consumo de potencia activa (kw) y un factor de potencia $\cos \theta_1$, la potencia del banco de capacitores que es necesario instalar para un nuevo factor de potencia $\cos \theta_2$, viene dada por la expresión: $Q_c \text{ (kvar)} = P \text{ (kw)} \times (\text{tg } \theta_1 - \text{tg } \theta_2)$

$$\text{tg } \theta_1 = \text{tg} (\cos^{-1} 0.6136) = 1.2868596$$

$$\text{tg } \theta_2 = \text{tg} (\cos^{-1} 0.85) = 0.6197443$$

$$Q_c \text{ (kvar)} = 115.59 \text{ (kw)} \times (1.2868596 - 0.6197443)$$

$$Q_c \text{ (kvar)} = 115.59 \text{ (kw)} \times (0.6671153) = 77.1118 \text{ kvar}$$

Conclusión: La potencia del banco de capacitores, debe ser: 90 kvar

2.2.7.3.1. Capacitores fijos

Un arreglo de uno o varios capacitores para formar un nivel de compensación fijo. El control puede ser manual por corto circuito o *switch* para cortar la carga, semiautomático por medio de una conexión directa al equipo y conectado con el mismo. Los capacitores se conectan en:

- Las terminales de dispositivos inductivos (motores y transformadores).
- Las barras que alimentan un número de motores pequeños o equipos inductivos para los cuales la compensación individual, sería muy costosa.

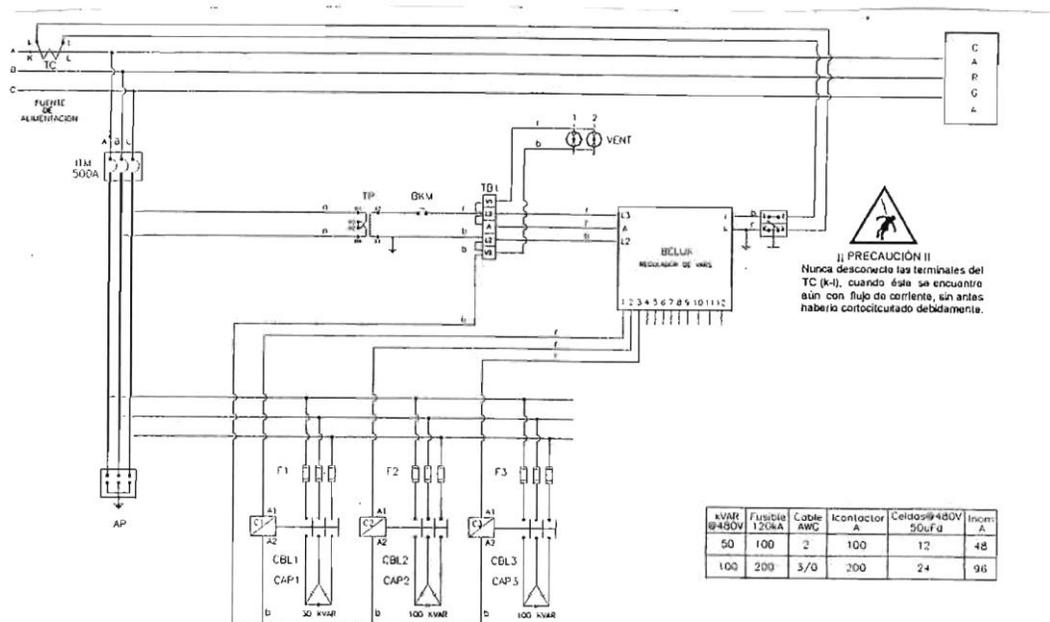
También este arreglo se usa, en los casos en que el nivel de la carga es razonablemente constante.

2.2.7.3.2. Banco de capacitores automáticos

Este tipo de banco de capacitores provee compensación automática, manteniendo el factor de potencia en los límites alrededor del valor seleccionado. Este tipo de equipo, se aplica en los puntos de la instalación en los que las variaciones de potencias y/o potencia reactiva, son muy grandes. El banco de capacitores está dividido en un número de secciones, cada una de las cuales, está controlada por un contactor. El cierre de un contactor conecta su sección en paralelo, con las otras secciones en servicio. Por consiguiente, se puede aumentar o disminuir el tamaño del banco en pasos, por el cierre y apertura de los contactores.

Un relevador de control, monitorea el factor de potencia de los circuitos controlados y está ajustado para abrir o cerrar los contactores apropiados, para mantener un factor de potencia razonablemente constante en el sistema (la tolerancia dada por el tamaño de cada paso de la compensación). El transformador de corriente para el relevador de monitoreo, debe conectarse en una fase del cable que alimenta los circuitos que están siendo controlados.

Figura 17. Diagrama eléctrico de un banco de capacitores automáticos



Fuente: Información técnica. Catálogo de UNELAP, México.

2.3. Línea de distribución eléctrica en 13.8 kv

Un sistema primario de distribución, toma la energía de la barra común de las subestaciones y la transporta a los devanados primarios de los transformadores de distribución, por medio de una red de distribución eléctrica.

2.3.1. Conceptos generales

El conocimiento de algunas definiciones y conceptos referentes a líneas de distribución eléctrica son importantes para una mejor comprensión.

2.3.1.1. Definición de distribución

En general distribución representa aquella parte del sistema eléctrico, que se encuentra entre las subestaciones de distribución y el equipo de la entrada de servicio de los consumidores.

2.3.1.2. Función de la distribución

La función principal de un sistema de distribución, es la de recibir la energía eléctrica de las grandes y voluminosas fuentes. De igual forma, esta energía hay que distribuirla en los consumidores, a niveles de voltaje y con grados de confiabilidad que resulten adecuados para los diversos tipos de usuarios.

2.3.1.3. Distribución aérea y subterránea

En grandes áreas metropolitanas y zonas del área rural, se utilizan tanto los sistemas de distribución aéreos como los subterráneos. En las poblaciones más pequeñas y en zonas menos congestionadas de las ciudades más grandes, el sistema de distribución que se usa casi por completo es el aéreo; el costo de una instalación eléctrica por medio de una distribución subterránea para las zonas residenciales, es varias veces mayor que el de la distribución aérea.

La distribución residencial subterránea, abreviado URD (Underground Residential Distribution), se convierte como una ventaja entre la distribución aérea, debido al manejo de la densidad de carga, por tal razón, en zonas comerciales en la mayor parte de las ciudades, se acostumbra utilizar la distribución subterránea.

2.3.1.4. Automatización de los sistemas de distribución

En los sistemas de distribución, la confiabilidad del servicio cada vez toma más importancia. De igual forma, está progresando la tendencia definida, de hacer uso de equipo de protección y seccionamiento en el sistema primario.

Los esquemas propuestos recorren toda la escala, desde los dispositivos de operación manual, hasta los automáticos controlados a distancia desde los centros de distribución eléctrica. Los esquemas de control a distancia, varían desde cierto tipo de control por supervisión, hasta los sistemas distribuidos controlados por computadora con base en microprocesadores, con lógica integrada para hacer frente con rapidez a los diversos problemas que puedan surgir en el sistema. Para el futuro el uso de automatización, se hará más estandar, a medida que evolucione el equipo y los canales de comunicación.

2.3.1.5. Clasificación de los sistemas de distribución

En la actualidad, los sistemas de distribución eléctrica, se pueden clasificar de diversas formas:

- Por la corriente: se divide en corriente alterna (AC) y corriente directa (DC).

- Según el voltaje: se divide en 120 V, 240 V, 12,470 V, 34,500 V, etc.
- Considerando el esquema de conexión: se divide en radial, malla, red múltiple y serie.
- Dada la carga: se divide en residencial, pequeña, de iluminación y potencia, alumbrado público, tranvías, etc.
- Según el número de conductores: se divide en bifilar, trifilar, tetrafilar, etc.
- Po el tipo de construcción: se divide en aéreo y subterráneo

2.3.1.6. Aplicación de los sistemas de distribución

Generalmente en la práctica, se utiliza sistemas de corriente alterna (AC) de 60 Hz para la distribución de la energía eléctrica. Mediante un sistema adecuado de diseño y la aplicación de equipo de protección contra sobre voltajes y sobre corrientes, se pueden definir los niveles de voltaje y la confiabilidad del servicio para la necesidad de los consumidores.

Por lo general, las cargas residenciales monofásicas, se alimentan por medio de sistemas radiales de 120/240 voltios. En las zonas de negocios o comercios, se recomienda una mayor confiabilidad en el suministro de energía eléctrica y se alimenta de redes secundarias de distribución a 208/120 voltios o bien en 480 Y/277 voltios.

2.3.1.7. Sistemas de subtransmisión

Por definición, subtransmisión es aquella parte del sistema de servicio eléctrico, que alimenta las subestaciones de distribución, desde las grandes fuentes de energía eléctrica (subestaciones de transmisión). Tiene muchas de las características de la transmisión, así como de la distribución, en el sentido

de que se mueven cantidades grandes de energía eléctrica, de un punto a otro, así como la transmisión.

En algunos sistemas de servicio eléctrico, los voltajes de transmisión y de subtransmisión son iguales; en otros, la subtransmisión se hace con un nivel (o niveles) de voltaje separado y distinto. Hay que mencionar diciendo que actualmente los sistemas de servicio eléctrico, el voltaje de transmisión de uso, hoy en día se convierte en el voltaje de subtransmisión de mañana y de igual forma el voltaje de subtransmisión de hoy, tiende a convertirse en el de distribución primaria del mañana.

Debido al amplio rango de voltajes utilizados en la subtransmisión y de la amplia variación en las condiciones geográficas, los circuitos de subtransmisión, a veces se construyen en líneas sobre torres en los derechos de paso privados o en calles subterráneas.

2.3.1.8. Protección contra sobrecorriente

Para una protección contra sobrecorriente, debe mencionarse el concepto de coordinación de los dispositivos de protección, el mismo se entiende como aquella disposición adecuada en serie a lo largo de un circuito de distribución, de modo que puedan restablecer las condiciones normales al producirse fallas en las líneas y equipo, de acuerdo con una secuencia preestablecida de operación.

Corta circuitos de fusible, reconectores automáticos de circuito, seccionadores o interruptores automáticos de circuitos con relevadores, son los dispositivos de protección contra sobre corrientes de uso más general. Se

pueden obtener las capacidades nominales y las características, con base en los folletos relativos a los productos publicados por los fabricantes.

Es importante mencionar que cuando los dispositivos de protección se aplican y coordinan en forma adecuada, se logra una protección que permite lo siguiente:

- Eliminar la paralización del servicio, cuando se producen fallas temporales.
- Reducir la extensión de las paralizaciones, es decir, el número de usuarios afectados.
- Ayudar a la localización de fallas, con lo que se reduce en consecuencia la duración de las interrupciones.

2.3.1.9. Protección contra sobrevoltajes

Debe mencionarse que los rayos, son la causa más frecuente de los sobrevoltajes en los sistemas de distribución. Generalmente, el rayo es una chispa gigantesca que proviene del desarrollo de millones de voltios entre las nubes o entre una nube y la tierra.

El voltaje de la caída de un rayo, se puede iniciar con cientos de millones de voltios entre la nube y la tierra. Más éstos valores no alcanzan a la tierra, entregan millones de voltios a la línea de distribución en el que caiga.

Hay que decir, que en las líneas de distribución aéreas, no es necesario que un rayo caiga en la línea para producir sobrevoltajes peligrosos para el equipo, esto es debido a que los voltajes inducidos causados por el colapso del campo electrostático con la caída cercana de un rayo que puede alcanzar

valores hasta de 500 kv. Además, es importante mencionar que la cantidad de corriente en la caída de un rayo es una cantidad estadística, la que depende de la energía existente en la nube y de la diferencia en el voltaje entre ésta y la tierra al iniciarse la descarga.

Se puede agregar que el 50 % de todas las corrientes producidas por los rayos, son menores que 15,000 amperios. La duración del flujo de corriente en la mayoría de las descargas de corriente elevada, es sólo de decenas o centenas de micro segundos. Por tal razón, se afirma que los rayos pueden producir voltajes peligrosos para el sistema de distribución, no representan una amenaza para la continuidad del servicio y se les debe enfrentar por medio de la instalación de pararrayos.

2.3.1.10. Transformadores de distribución

Una de las máquinas estáticas de corriente alterna llamadas transformadores, éstas convierten la energía eléctrica de los voltajes primarios a los voltajes secundarios de utilización. Las caídas momentáneas en el voltaje de alumbrado causado por la corriente de arranque de los motores con frecuencia, exigen el uso de transformadores separados, en donde se debe dar el servicio a los motores trifásicos y monofásicos desde circuitos radiales.

De acuerdo a las necesidades eléctricas los usuarios y fabricantes, han estandarizado ciertas características de diseño de los transformadores de línea, para tamaños hasta de 500 kva y voltaje de 69 kv. Las capacidades de los transformadores más comunes son: 10, 15, 25 37½, 50, 75, 100, 167, 250, 333 y 500 kva.

En el secundario de los transformadores, los devanados laterales, se construyen para una operación trifilar a voltajes de 120/240 o 240/480 voltios. Para algunos tamaños más grandes de transformadores, se cuenta con devanados laterales en el secundario a voltajes desde 2,400 hasta 7,970 voltios. Las boquillas para las terminales en el primario y en el secundario vienen equipadas para conectores sin soldadura, excepto las boquillas del primario para 7,200 voltios, están montadas en la cubierta.

2.3.1.11. Distribución secundaria radial

En un sistema eléctrico, las líneas operan al voltaje de utilización y sirven como líneas principales locales de distribución eléctrica. En los antiguos sistemas radiales comerciales, las líneas principales secundarias que alimentan el alumbrado general y satisfacen pequeñas demandas de potencia,, generalmente están separadas de las líneas principales que alimentan la energía eléctrica trifásica, debido a la caída en el voltaje provocado por el arranque de motores.

En un sistema radial, a veces se proporciona el servicio trifásico desde una línea principal secundaria separada, si el voltaje resulta afectado por motores. Si no es necesaria la separación del servicio de alumbrado y de potencia, la naturaleza de la conexión puede depender del tamaño relativo de las cargas. Cuando predomina la carga de potencia, se puede dar servicio y la carga de alumbrado, se proporciona a una capacidad adicional.

Esta capacidad adicional es dada en uno de los transformadores y se introduce un neutro desde éste, hasta el servicio de alumbrado.

2.3.2. Postes y cruceros

Como partes importantes en las líneas de distribución eléctrica, está el número de postes distribuidos adecuadamente en el terreno para el transporte de la energía eléctrica y de sus respectivos cruceros como soporte de aisladores para los conductores eléctricos.

2.3.2.1. Construcción aérea

Tomando en consideración que la construcción de distribución aérea, sigue teniendo un menor costo que la distribución subterránea, en la actualidad la gran mayoría de los nuevos desarrollos residenciales, se les está suministrando sistemas subterráneos. Sin embargo, la mayor parte de los nuevos circuitos alimentadores principales y los sistemas rurales y semirurales, se están construyendo aéreos.

La construcción tradicional de distribución aérea comprendía una o más crucetas en cada poste para montar los aisladores primarios, los transformadores de distribución, los pararrayos, los cortos circuitos, etc. Sin embargo, muchos conceptos nuevos se han introducido en la construcción aérea, con el único interés de mejorar los sistemas.

También se han introducido la idea del uso de postes más cortos, secundario y servicios con cable, el uso estratégico de postes de acero con el fin de reducir o eliminar la necesidad de contravientos y menos circuitos por poste. Pero, es necesario hacer notar que en los secundarios se emplea un conductor cubierto, que puede resistir el contacto momentáneo entre conductores y se le considera igual que el conductor desnudo, respecto a los espacios libres hacia otros objetos y para todos los demás fines.

2.3.2.2. Postes de madera

Los postes de madera son los más económicos de fabricación y montaje, representan el soporte más generalizado para las líneas eléctricas de distribución.

Una de las mayores ventajas, es que son livianos y fácil de transportar. No se requiere grúas para instalarlos, por lo tanto, esto reduce costos y permite su fácil instalación en áreas de difícil acceso.

2.3.2.2.1. Características técnicas de los postes de madera

Recibe el nombre de pie de poste de madera a la parte más ancha, representa la parte destinada a ser enterrada en el suelo y despunte a la parte superior de menor diámetro. El despunte está achaflanado para dificultar la penetración del agua de lluvia y también se pinta con alquitrán o betún.

Para los postes de madera, se enumeran las siguientes características:

- Especie de procedencia forestal
- Longitud determinada
- Diámetro del despunte
- Índice de aguzamiento

Generalmente se acostumbra utilizar las especies coníferas, como el pino silvestre.

El diámetro del despunte está relacionado con la longitud, así como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla VIII. Longitud total y diámetro del despunte

Longitud total (m)	Diámetro del despunte (cm)
9	11
12	13
16	15

Fuente: RAMIREZ VÁSQUEZ, José. Instalaciones Eléctricas. p. 55.

Se llama índice de aguzamiento del poste, a la relación de la diferencia entre los diámetros de los extremos y la longitud del poste.

2.3.2.2.2. Forma de los postes

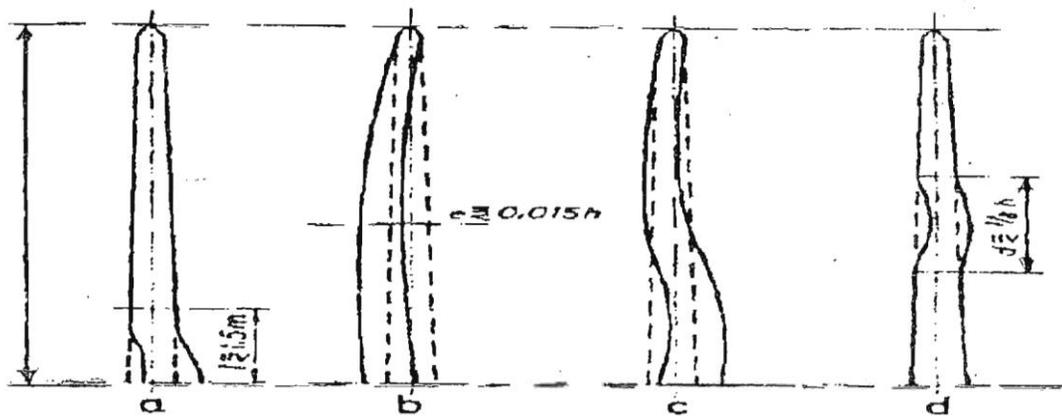
Generalmente los postes deben ser rectos, normalmente son destinados a ser emplazados sobre zócalos, tomando en consideración, algunas circunstancias que se detallan a continuación:

- La torcedura localizada en la base es admisible en una longitud no mayor de 1.5 metros, si la desviación total del eje es inferior al diámetro de la base.
- La curvatura uniforme del poste, será admisible si en toda la longitud del poste la flecha máxima no llega a superar los 15 mm. por metro de longitud.
- La doble curvatura se admite cuando cada rama de la curva, está situada aproximadamente hacia la mitad del poste y si la línea imaginaria que

une los centros de las caras del poste, no sale de éste en toda su longitud.

- Se puede admitir una torcedura en una zona, cuando no afecta más de $1/8$ de la longitud total del poste y si los ejes de los 2 trozos separados por la curva están en prolongación y si la línea que los une no sobresale del poste.

Figura 18. Defectos en los postes



Fuente: RAMIREZ VÁSQUEZ, José. Instalaciones Eléctricas. p. 57.

2.3.2.2.3. Resistencia mecánica de los postes de madera

Los postes de madera deben cumplir con ciertas características de resistencia a los esfuerzos mecánicos, esto se refiere a fatiga, corte, compresión, etc. Se debe mencionar según la National Electrical Safety Code (NESC) prescribe el máximo esfuerzo para postes de estructuras en tangente, no debe exceder el 25 % del esfuerzo de rotura en la línea de tierra o en el punto de anclaje, en el caso de instalar anclajes

Si se considera instalar postes de madera en terrenos menos compactos, se toma en cuenta otras profundidades de empotramiento, así como métodos apropiados para reforzar la estabilidad del poste, esto es: puntales y retenidas.

A continuación se dan las cargas horizontales, que se usan para identificar a las 15 clases de poste:

Tabla IX. **Cargas utilizadas para identificar la clase de poste**

Clase de poste	Carga horizontal, lb.
H6	11,400
H5	10,000
H4	8,700
H3	7,500
H2	6,400
H1	5,400
1	4,500
2	3,700
3	3,000
4	2,400
5	1,900
6	1,500
7	1,200
8	740
10	340

Fuente: FINK, Donald G. Manual de ingeniería eléctrica. p. 18-63

Es muy frecuente utilizar para calcular la distancia de la base del poste a la tierra la siguiente fórmula:

$$D B - T = (10 \% \times \text{longitud del poste}) + 0.5 \text{ metros} \quad (2-4)$$

Donde:

D B –T = distancia de la base del poste a la tierra.

Tabla X. **Distancias de empotramiento recomendadas**

Longitud de poste	Distancia de la base a las líneas de tierra	Peso (kg)	Peso (lb)
6.00 M (20 pies)	1.22 M (4 pies)	375	170
7.63 M (25 pies)	1.53 M (5 pies)	595	270
9.00 M (30 pies)	1.68 M (5.5 pies)	1069	485
10.67M (35 pies)	1.83 M (6 pies)	1257	540

Fuente: Información técnica. Catálogo Lignum.

2.3.2.2.4. Tratamiento para postes de madera

Para lograr retardar el proceso destructivo de los postes de madera, primero son secados, es decir, eliminar la humedad que normalmente traen, luego son tratados con preservantes a presión para llenar los poros de la madera. Esto no sólo evita que la madera sea consumida por hongos e insectos, sino que también inhibe la futura absorción de humedad.

Existen diferentes tipos de preservantes, que han sido utilizados con diferentes grados de eficiencia.

Hay que considerar que preservar un poste de madera conlleva a supervisar y dar mantenimiento con espacios de tiempo determinados. Se puede asegurar que un buen tratamiento, puede incrementar hasta 4 veces la

vida normal del poste de madera, ya que éstos se han calculado 5 años de vida promedio, para los que no han sido tratados.

Todos los postes deberán ser curados, taladrados y con los agujeros y cortes hechos antes del tratamiento, de lo contrario las perforaciones realizadas para el montaje de las estructuras, permitirán la entrada de humedad, produciendo un acortamiento de su vida útil y un aumento del número de mantenimientos por cambio de postes.

2.3.2.3. Postes de concreto

Se dice que la resistencia a la tracción del hormigón, es aproximadamente la décima parte de su resistencia a la compresión, por lo tanto, el hormigón en masa, no es un material apto para resistir esfuerzos de tracción. Para ello, al hormigón en masa se le agrega una armadura metálica, formándose así el hormigón armado. La presencia del hierro tiene el mismo coeficiente de dilatación que el hormigón, con esto se consigue una mayor solidez en la construcción y permite en conjunto, considerables esfuerzos de tracción. Los postes de concreto son construidos con núcleos huecos, para reducir su peso y para ahorrar material.

El procedimiento para mejorar las características del hormigón armado es someterlo a un proceso de centrifugación, con esto se obtiene el hormigón centrifugado. Es importante decir que este procedimiento de centrifugación consiste en someter a las piezas moldeadas de hormigón, a un movimiento rápido alrededor de un eje, de tal forma que el hormigón introducido en el molde, se comprima energéticamente contra éste y por efecto de la fuerza centrífuga originada por el movimiento de rotación, formándose de este modo el elemento o pieza que se necesita fabricar.

Existe también el hormigón pretensado, llamado por algunos, hormigón precomprimido. Con éste, resulta más económico y se elimina las fisuras y grietas. Además, los postes de concreto por su alto peso y fragilidad de su traslado, son relativamente más caros, a veces se usan menos. Pero tienen la ventaja que no son afectados bruscamente por la humedad, sol, aves, fuego o químicos. También los postes de concreto son más resistentes y rígidos que los de madera, generalmente son libres de mantenimiento, humedad de la tierra y el clima, ver tabla XI.

2.3.2.3.1. Aplicación de los postes de concreto

Las líneas de media tensión, son fijadas normalmente por postes de concreto de 10.67 metros de longitud de clase 750. Las líneas de baja tensión y alumbrado público serán apoyados normalmente por postes de 9 metros de longitud o por postes de 10.67 metros.

Normalmente los postes de concreto de 10.67 metros de longitud, son usados en redes de distribución eléctrica de media tensión o una combinación de media y baja tensión. Siguiendo los requerimientos que especifican los planos de la red de distribución, cuando la población este urbanizada, todos los postes deben estar alineados y en un sólo lado de la calle, en el caso que los postes queden cercanos a estructuras o edificios de varios pies, deben considerarse las separaciones mínimas verticales y horizontales.

Tabla XI. **Características de los postes de concreto**

Medidas en pies	Medidas en metros	Enterrado (metros)	Usos	Resistencia (lbs.)
26	8.00	1.25	Teléfonos	264
30	9.14	1.52	Alumbrado 120/240 V	500
35	10.60	1.68	Transmisión 13.8 KV	500
35	10.60	1.83	Transformador 13.8 KV	750
40	12.00	2.05	Transmisión 34.5 KV	750
53	16.00	2.44	Transmisión 69 KV	1,000
60	18.00	2.70	Transmisión 69 KV	1,000
70	21.00	2.90	Transmisión 240 KV	2,000
80	24.00	3.20	Transmisión 240 KV	2,000
90	27.00	3.50	Transmisión 240 KV	2,000

Fuente: Información técnica. Catálogo de Cifa.

Según normas, se hace necesaria la colocación de crucetas en voladizo o en bandera, utilizando el lado de la calle, que tenga menos obstáculos. Los postes de concreto serán enterrados a una distancia de 15 cms. de la acera, dentro del bordillo a las profundidades especificadas técnicas, dadas por norma. Los postes podrán ser de concreto centrifugado o madera con óxidos de cobre.

2.3.2.3.2. Clasificación de los postes según su función

De acuerdo al tipo de apoyo de las líneas aéreas y a su función, éstas pueden clasificarse así:

- Apoyos de alineación: sirven solamente para soportar los conductores y cables de tierra y se emplean en alineaciones rectas. Se llaman también

apoyos de suspensión y se proyectan para quedar sometidos a los esfuerzos verticales y a los esfuerzos transversales, debidos al viento.

- Apoyos de ángulo: son utilizados para soportar los conductores y cables eléctricos, en los vértices de los ángulos que forman dos alineaciones distintas. Estos aparecen para soportar los esfuerzos verticales, los esfuerzos transversales debidos al viento y los esfuerzos transversales, debidos a la tracción de los conductores.
- Apoyos de anclaje: se utilizan para proporcionar puntos firmes en la línea y limitar la propagación de esfuerzos longitudinales, debidos a la ruptura de un conductor. Normalmente estos esfuerzos longitudinales, se proyectan para soportar los esfuerzos de apoyo de alineación. A veces se disponen en alineaciones rectas, en sustitución de los postes de alineación y a veces se llaman apoyos de amarre.
- Apoyos de remate de línea: este tipo de apoyo debe resistir, en sentido longitudinal de la línea, los esfuerzos longitudinales de todos los conductores y cables de tierra. Estos deben ser montados al principio o al final de una línea aérea. Este tipo de apoyo debe soportar también los esfuerzos transversales, debidos al peso propio de los conductores.
- Apoyos especiales: tienen una función diferente a los apoyos definidos anteriormente. Es importante considerar los apoyos de cruce, utilizados para los vanos que se cruzan con la línea, vías de ferrocarril, líneas de telecomunicaciones, etc., éstos apoyos se utilizan para bifurcación y derivación de la línea aérea en diversas direcciones.

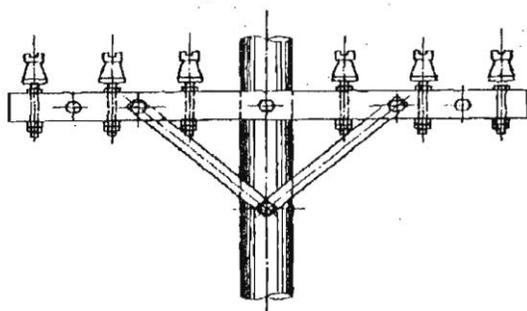
2.3.2.4. Cruceros

Cuando se necesitan instalar varios aisladores para fijar las líneas aéreas en los postes, la fijación de los aisladores se realiza por medio de cruceros, que se montan a conveniente distancia entre sí, para obtener la libranza eléctrica correspondiente al nivel de tensión del sistema.

En los cruceros se emplean como soportes rectos con aisladores de apoyo, con los que se mantienen los aisladores en posición vertical; cuando se usan aisladores de suspensión, se emplean siempre cruceros de los que van suspendidos los herrajes de fijación de cruceros de los aisladores. El material empleado en la construcción de cruceros es la madera y el hierro laminado.

El crucero se fija al poste por medio de tornillos pasantes y lleva una platina de hierro, con lo cual se reduce la flexión y se da más rigidez al conjunto.

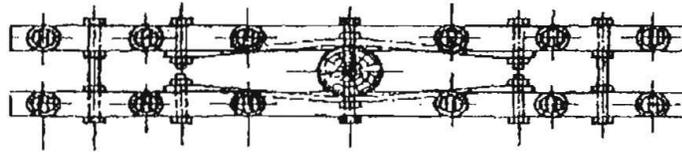
Figura 19. Vista de un crucero sencillo



Fuente: Información técnica. Catálogo de Empresa Eléctrica.

Los cruceros dobles se emplean cuando los esfuerzos por las líneas aéreas, son considerados fuertes o para garantizar la seguridad del montaje.

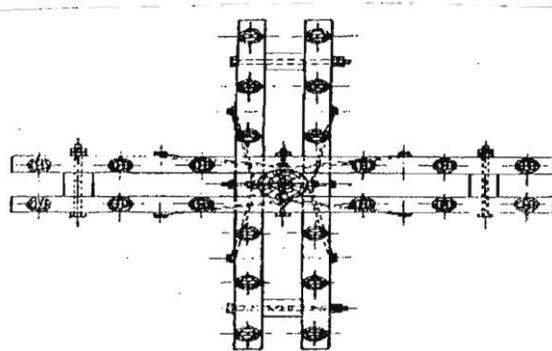
Figura 20. **Vista de planta de un crucero doble**



Fuente: Información técnica. Catálogo de Empresa Eléctrica.

Los cruceros perpendiculares están formados por dos cruceros dobles, montados perpendicularmente entre sí, éstos se emplean en las esquinas y cruzamientos en las líneas eléctricas. Hay que considerar que para el montaje de estos cruceros, debe preverse un espacio mínimo entre los aisladores centrales con el fin de que el personal de servicio pueda pasar y trepar hasta la parte superior del poste.

Figura 21. **Vista de crucero perpendicular**



Fuente: Información técnica. Catálogo de Empresa Eléctrica.

Los cruceros de hierro galvanizado se fabrican con perfiles laminados, se emplean en instalaciones sometidas a grandes esfuerzos y en las líneas de alta

tensión, aunque su costo es más elevado, tienen una mayor duración y son capaces de soportar cargas mayores.

2.3.3. Estructura de líneas eléctrica en postes

Para el montaje de líneas eléctricas aéreas, es importante tomar en cuenta algunos elementos técnicos, para cumplir con las normativas vigentes, por ello, se mencionan las siguientes:

2.3.3.1. Ubicación de los postes

Puede considerarse en los lugares residenciales, una separación entre los postes de alrededor de 30 hasta 45 metros, dependiendo del tamaño de los lotes. El claro debe tener una longitud igual, a un número entero de ancho de lote y los postes se colocan para suministrar puntos convenientes para la conexión de los servicios. En las áreas rurales se pueden aplicar claros más largos, hasta de 91 metros o más. En cualquiera de los casos, áreas residenciales o rurales, el espaciamiento de los postes, se debe tomar en consideración el crecimiento futuro y las necesidades de servicio esperados en la zona.

La selección del espaciamiento en los postes, también es función de la carga que van a soportar y los aspectos económicos relativos de los claros más largos. El espaciamiento de los postes, como la ubicación de las líneas, son función de los obstáculos que se encuentran en la zona. Para poder consultar requisitos más específicos acerca de la colocación de los postes cerca de otros postes, caminos, edificios, consultar la ANSI.

2.3.3.2. Selección de los postes

La altura de los postes, queda determinada por los espacios libres que se requieran sobre las obstrucciones, calles y cruceros, las longitudes de los claros, el número y carácter de los conductores o circuitos que van a soportar.

Las longitudes más comunes para los postes utilizados en la construcción para distribución, han sido los de 30, 35 y 40 pies de alto. Los postes de clase 5 y 6, son muy populares, aunque es frecuente que necesiten postes más grandes en aquellos casos en los que se va a montar equipo pesado o bien se usan claros más largos, con cargas más grandes de viento. La clase del poste se determina por los requisitos de esfuerzo, para el grado de construcción que se está empleando.

Cuando los conductores primarios se van a soportar en conjunto, por lo general el poste de 35 pies es el mínimo utilizado y el de 40 pies es bastante común.

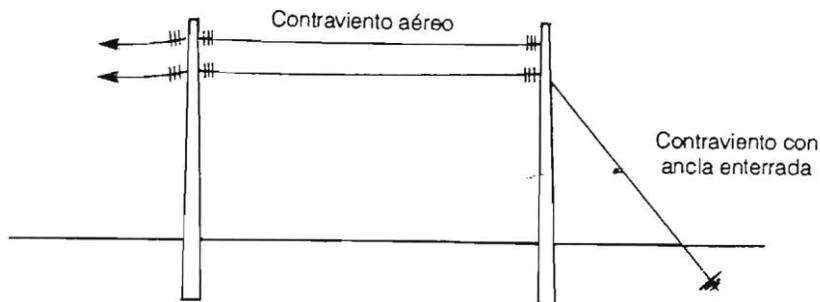
2.3.3.3. Colocación de contravientos

Cuando las cargas horizontales que van a ser soportadas por los postes son mayores que las que pueden absorber por sí mismos en seguridad, se requieren contravientos para proporcionar un apoyo.

Normalmente, el uso de contravientos y anclas es cuando las tensiones en los conductores no quedan equilibradas, como en los extremos muertos, esquinas o bien, en donde la dirección de la línea cambia.

Los contravientos descendentes, transmiten fuerzas desde el sistema de la estructura aérea, hasta un sistema de anclas enterradas.

Figura 22. **Contravientos a tensión**



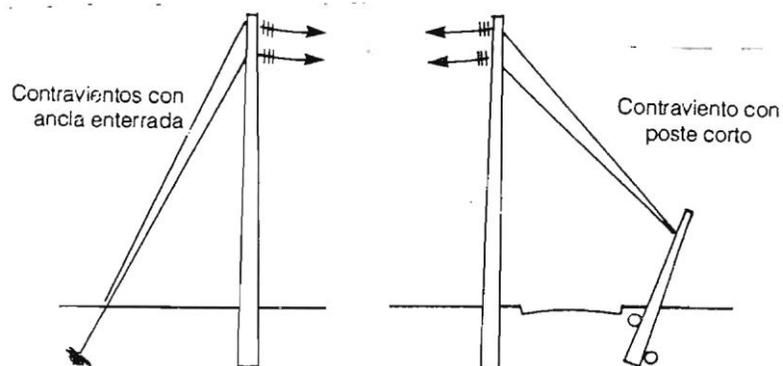
Fuente: FINK, Donald G. Manual de ingeniería eléctrica. p. 18 -71.

Los contravientos se ubican opuestos a las fuerzas y para equilibrar a éstas, se emplean materiales a tensión. Cuando en ocasiones no resulta práctico colocar estas instalaciones para llevar las fuerzas no equilibradas hasta el piso, se debe emplear un contraviento a compresión. Hay que decir, que en donde las vías de tráfico en cualquiera de otros obstáculos, no permitan el anclaje directo de las fuerzas presentes en el poste no equilibrado, se usan contravientos aéreos, para transmitir la fuerza hacia otro poste alineado con aquellas fuerzas no equilibradas y que se encuentran colocados en un lugar, en el que se pueda usar el contraviento descendente.

El mejor contraviento descendente, es uno con ancla enterrada compuesta por un alambre adecuado, sujetadores y ancla. Cuando no se puede usar un contraviento con ancla enterrada por existir interferencia con el tránsito de peatones o de vehículos y donde no existe un lugar práctico para colocar un poste auxiliar y un contraviento con ancla enterrada, la que permitiría

el uso de un contraviento aéreo, es posible que se tenga que emplear un contraviento con poste corto.

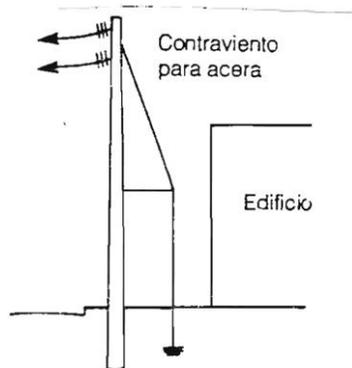
Figura 23. **Contravientos a tensión**



Fuente: FINK, Donald G. Manual de ingeniería eléctrica. p. 18 -72.

Otro contraviento descendente que se utiliza en lugares restringidos, es el contraviento para acera. Este tipo de contraviento se sujeta al poste, a la mitad de su altura, un montante horizontal; el cable del contraviento se tiende, formando un ángulo desde la parte superior del poste hacia el montante y de éste en forma directa, hasta el ancla. Estos montantes se usan con más frecuencia para derivaciones pequeñas, que salen de una línea principal en donde no se cuenta con lugar suficiente para un contraviento de longitud completa, con ancla enterrada. El montante suele tener sólo el largo suficiente para colocar el ancla atrás de una acera y lo bastante alto, como para permitir el paso de los peatones.

Figura 24. **Contravientos a tensión**



Fuente: FINK, Donald G. Manual de ingeniería eléctrica. p. 18 -73.

2.3.3.4. Cables para contravientos

Este tipo de cable generalmente son trenzados de acero, que suelen estar galvanizados para resistir la acción de la intemperie. Existen en varios grados, incluyendo los de resistencia mecánica extra alta y en varios pesos de 1/16", desde 3/16" hacia arriba.

Según la normativa ANSI, se especifica que para la construcción de grado B y para cargas transversales, se deben usar cables para contravientos, de modo que no queden sujetos a esfuerzos superiores que el 37.5 % de la última resistencia y para los extremos muertos, de no más del 66.67 % de esa resistencia. Una vez que se ha calculado la tensión, se seleccionan los cables para contravientos, de modo que se satisfagan estos requisitos.

2.3.4. Conductores en líneas de distribución eléctrica

Los estándares reglamentarios establecen que como conductores, pueden emplearse cualesquiera materiales metálicos o combinación de éstos,

que permitan constituir alambres o cables de características eléctricas y mecánicas adecuadas para su fin, inalterables con el tiempo, también que tenga una resistencia elevada a la corrosión atmosférica.

Las líneas aéreas se ejecutarán como regla general, con conductores desnudos, en la red secundaria, cuando lo amerite, se utilizarán conductores protegidos. En caso de usar conductores cubiertos de una capa aislante, está deberá ser resistente a las acciones atmosféricas.

Los materiales que constituyen los conductores para líneas aéreas, han de tener una pequeña resistencia eléctrica, para que las pérdidas por calentamiento se reduzcan en todo lo posible, puesto que estas pérdidas son proporcionales a la resistencia eléctrica. Estos conductores deben tener una elevada resistencia mecánica, por los esfuerzos del viento y el montaje.

2.3.4.1. Características de los materiales conductores

Dentro de las características a considerar de los materiales conductores se enumeran las siguientes:

2.3.4.1.1. Límite elástico y módulo de elasticidad

El límite elástico de un metal, es la cantidad de elongación o estiramiento que puede soportar bajo un esfuerzo, ser capaz de regresar a su dimensión original, sin deformarse, luego de que el esfuerzo es retirado.

La elasticidad de un material puede ser medida, como el promedio entre los esfuerzos aplicados y la elongación producida. Este promedio es conocido como módulo de elasticidad y es una medida de cuanto flecha o estiramiento, puede tener el conductor bajo carga. Un valor pequeño del porcentaje de elongación del conductor, está acompañado de un aumento en la distancia de la flecha.

La tensión es inversamente proporcional a la flecha, si la flecha aumenta, la tensión en el conductor se reduce. La elongación puede llegar al límite elástico y debe considerarse un factor de seguridad.

El límite elástico y el factor de seguridad, son valores tomados en cuenta al momento del cálculo de flechas.

2.3.4.1.2. Coeficiente de temperatura

Es importante decir otra característica que afecta el desempeño de los conductores: el coeficiente de temperatura de expansión lineal, el cual es una medida del cambio de longitud del material con la temperatura.

Este coeficiente es de importancia, ya que la flecha que se tiene a una temperatura en particular, por ejemplo en verano, puede ser que en diferente época del año se experimente otra temperatura, al decir verano. Estas variaciones de temperatura deben considerarse en el diseño y construcción de las líneas aéreas, en la selección de los equipos, ya que ejercen esfuerzos sobre los aisladores, postes, cruceros herrajes y empalmes.

2.3.4.1.3. Tamaño de conductores

Generalmente, no es práctico fabricar un gran número de tamaños de conductores, existe un estándar simple entre usuarios y fabricantes.

El tamaño del conductor está dado en números calibrados, que para propósitos de distribución, están dentro de un mínimo de números: 12 a un máximo de números 4/0 para conductores sólidos.

Es común encontrar que los conductores sólidos no sean usualmente utilizados en tamaños mayores a 4/0 AWG, y que los conductores cableados se encuentran arriba del número 2 AWG.

2.3.4.1.4. Materiales para fabricación de conductores

En los conductores es importante considerar las características mecánicas como eléctricas, sobre todo al momento de escoger conductores.

- Cobre: ha sido el conductor con desempeño más satisfactorio para propósitos eléctricos. Sus características eléctricas y mecánicas lo vuelven aconsejable para muchas necesidades. Su conductividad es usada como una referencia para otros materiales. Se confirma que el cobre es suficientemente suave para ser manipulado; al cobre se le puede incrementar su rigidez a través del templado del material. Está disponible en tres grados de rigidez y dureza: alta, mediana y suave.

Se dice que, para líneas aéreas, el cobre con alta dureza encuentra mucha aplicación donde se utilicen vanos largos, el de mediana para

vanos de longitud intermedia y el suave para vanos cortos, donde se realizan empalmes y otras aplicaciones donde la rigidez no es un requisito tan importante como la alta flexibilidad.

- Aluminio: la conductividad del aluminio es sólo 61 % de la del cobre, su peso es sólo un 1/3 de la del cobre, por lo que para la misma conductividad, un conductor de aluminio pesaría sólo la mitad de lo que pesaría uno de cobre, aunque sea de un diámetro mayor. La resistencia mecánica del aluminio es comparable a la del cobre suave.

El conductor de aluminio Alloy (AAAC, All Aluminium Alloy Conductor): está construido de una aleación de aluminio Alloy que ofrece una buena resistencia a la corrosión por contaminación ambiental, por tal razón ese tipo de conductor se utiliza en zonas costeras industriales. Este conductor presenta buenas características de conducción, así como bajo peso y alta resistencia mecánica. El conductor de aluminio con alma de acero (ACSR, Aluminium Conductor Steel Reinforced): en éstos conductores algunas veces el aluminio es sometido a aleaciones con otros materiales para incrementar su dureza, pero es más común que esta deficiencia sea superada por el uso de acero en el centro del conductor. La resistencia mecánica de éste tipo de conductor, es de dos veces que la del aluminio corriente, lo que es considerablemente alto aún para el cobre de alta dureza de la misma conductividad.

- Acero: su conductividad es relativamente baja, debido a su alta resistencia mecánica, es usada algunas veces como conductor eléctrico. Para el acero, su uso es limitado en aquellas pocas ocasiones donde el conductor está sometido a esfuerzos mecánicos considerables.

2.3.4.2. Líneas eléctricas con cable desnudo

Algunas de las principales características a considerar se detallan a continuación.

2.3.4.2.1. Flecha de conductores

Se llama flecha en un conductor eléctrico a la distancia entre la línea recta que pasa por los dos puntos de sujeción de un conductor en dos apoyos consecutivos y el punto más bajo de éste mismo conductor y vano a la distancia entre apoyo y apoyo.

2.3.4.2.2. Determinación de la flecha de los conductores

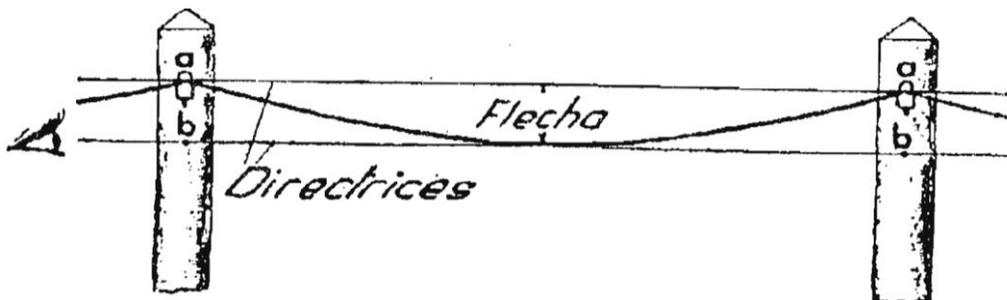
Se llama flecha de un conductor a la distancia que hay entre dos cotas extremas de un conductor. Cualquier hilo apoyado en sus extremos y a causa de su peso propio, no es horizontal; sino que forma una curva especial llamada catenaria, cuya desviación de la horizontal es máxima en el punto medio situado entre los dos apoyos. En el caso de los conductores, la flecha será mayor o menor según el tensado del cable. La determinación de la flecha para cada instalación es de gran importancia. La flecha depende de los siguientes factores:

- De la clase de material: los cables de aluminio, por tener menor resistencia mecánica que los de cobre, necesitan una flecha mayor.
- Del vano: Cuando mayor es el vano o distancia entre postes, mayor debe ser la flecha.

- De la sección del conductor: para conductores del mismo material, el de mayor sección tiene más peso y por consiguiente necesita una flecha mayor.
- De la temperatura ambiente: a temperatura más elevada, mayor flecha. La medición de la temperatura ambiente se realiza por medio de un termómetro suspendido de un poste y abrigado de la acción directa de los rayos del sol. Como en el trabajo del tensado de los cables y medición de las flechas necesitan un poco de tiempo, se debe tratar de evitar la determinación y regulación de éstas flechas en horas en que las variaciones de temperatura son rápidas.

Una vez determinada la flecha, se procede a una medición sobre el tamaño, durante el proceso de tensado de los conductores. Para esta medición, existen varios procedimientos, esta vez sólo se mencionará el procedimiento por visualización. En éste, se mide desde el punto de suspensión del conductor a , hacia abajo, la flecha que corresponde en dos puntos contiguos, la flecha se marca en el poste con b . Durante el tensado del cable, se dirige una visual desde uno de los postes, a ojo, o por medio de un antejo hasta que el punto más bajo del conductor quede en la línea mira b...b.

Figura 25. **Determinación de la flecha de los conductores aéreos por visualización**



Fuente: RAMÍREZ VÁSQUEZ, José. Instalaciones Eléctricas. p. 71.

2.3.4.2.3. Retenida y anclas

Para mantener tensas las líneas, impidiendo que cedan los postes bajo la acción de esfuerzos mecánicos provocados por el peso del conductor y la acción del viento, para ello existen procedimientos de anclaje, para poder desviar la dirección de los esfuerzos hacia los dispositivos de anclado.

Los cables tensores actúan exclusivamente en dirección opuesta a la tracción de las líneas y a la presión del viento, por eso se dice que éstos dispositivos trabajan principalmente a tracción. Se puede decir que cuanto mayor sea el ángulo entre el poste y el dispositivo de anclado, entonces es mayor la eficiencia de éste.

En puntos angulares y con la misma distancia entre postes a uno y otro lado, se elige la bisectriz del ángulo como dirección de los dispositivos de anclado, de esta forma, en caso de dilataciones y contracciones de los cables tensores por efectos de temperatura, los esfuerzos resultantes se distribuirán por igual a ambos lados de la línea.

Cuando el ángulo formado por la línea sea considerado (mayor a 60°), la colocación de un dispositivo de anclado, no es posible, porque deben compensarse individualmente los esfuerzos de tracción de la línea.

Deberán colocarse dispositivos de anclado en todos aquellos puntos en donde lo aconseje el trazo de la línea; en los últimos postes, en los postes a ambos lados de cruces de ferrocarriles y carreteras, en los cambios bruscos de pendientes; en los cambios de dirección de la línea y en los vanos de mayor longitud que los normales.

2.3.4.2.4. Tipos de retenidas

- Retenidas de ancla: es el tipo de retenida más común, en la cual se fija uno de los extremos al poste y el otro a una varilla, la cual está unida a una ancla y a la vez está enterrada.
- Retenida aérea: en este tipo de retenida el cable tensor se extiende desde la parte superior del poste bajo carga hacia un poste adyacente; debido a que ésta retenida transfiere la carga a través del cable hacia el otro poste, el poste que recibe, debe ser lo suficientemente fuerte para soportar ésta carga adicional.
- Retenida de cabo: este tipo de retenida, se utiliza cuando no es posible ubicar el conjunto ancla-cable tensor en una distancia segura, debido al paso de los vehículos. Para éste tipo de retenida se utiliza un poste de menor tamaño, y se construye una retenida aérea entre el poste bajo carga y el poste que recibe.
- Retenida de acera: este tipo de retenida, se utiliza por razones estéticas o cuando no existe la suficiente distancia horizontal para ubicar el ancla. Esta retenida no es conveniente cuando el poste es sometido a esfuerzos considerables.

2.3.4.2.5. Anclas

La capacidad de los anclas debe igualarse a la del cable tensor. La capacidad de las anclas depende del área de presión sobre el suelo; la profundidad a la cual es enterrada, está en función del peso o presión del suelo y del tipo o naturaleza del suelo.

2.3.4.2.6. Tipos de anclas

Se clasifican de la siguiente manera:

- Troncos, tablas o platos enterrados y fijados al final de una varilla.
- Anclas atornilladas: son las que se introducen en el suelo a varias profundidades. Este tipo de anclas se utiliza en zonas pantanosas y se conoce como anclas de pantanos.
- Anclas expansivas: es donde una varilla es unida al centro del ancla y ésta se expande en 4 partes aumentando en área en contacto con el suelo, con lo que se logra una mayor fuerza de retención.
- Varillas fundidas en rocas, en donde la profundidad de la varilla depende del tipo de roca y de la magnitud del esfuerzo.

2.3.4.2.7. Esfuerzos sobre postes

Los esfuerzos o cargas en las retenidas son generalmente ocasionados por la tensión de los conductores y el ángulo intermedio entre los vanos del conductor, la magnitud de dicha tensión depende del tamaño del conductor, su carga y la flecha del vano.

El viento actúa como si se tratase de una sobre carga, ya que al sumarse geoméricamente con el peso propio del cable, hace que el efecto sea el de un aumento aparente de dicho peso.

El esfuerzo a que se somete el poste cuando los conductores forman un ángulo entre vanos, es debido a la tensión de los mismos, pero sólo una componente de esa tensión es manejada por la retenida; el tamaño de este esfuerzo depende del tamaño del ángulo que se forma.

Se tiene que, T , es la tensión total causada por los conductores, y a es el ángulo de la línea, la componente de la tensión en la línea con la retenida es:

$$T_a = T \operatorname{sen} (a / 2) \quad (2-5)$$

Y el esfuerzo total en la retenida es:

$$T_{\text{ret}} = 2 T \operatorname{sen} (a / 2) \quad (2-6)$$

Si la tensión en los dos vanos no es balanceada, entonces el esfuerzo resultante será la suma vectorial de los dos y el resultado será el esfuerzo en la retenida. El esfuerzo o carga que causa el viento sobre el poste debe ser tomada en cuenta cuando se determine la carga total que soportará la retenida.

Cuando los esfuerzos actúan sobre el poste a diferentes alturas, se deben de convertir éstos esfuerzos a uno equivalente en el punto de fijación de la retenida.

- Zonas de carga mecánica

Es un factor importante establecer las cargas mínimas que deben tomarse en cuenta en el cálculo mecánico de líneas aéreas, según el lugar de su instalación y de acuerdo a la normativa NTDOID de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, el país se ha dividido en 3 zonas de carga, donde la presión ejercida por el viento se calcula como la correspondiente a una velocidad no menor que las que se indican:

- Zona 1 = 80 km / h
- Zona 2 = 100 km / h
- Zona 3 = 120 km / h

Adicionalmente en el país existen 4 zonas de temperatura, que los conductores estarán sometidos a las temperaturas mínimas y máximas:

- Zona 1 = mínima 10 °C; máxima 50 °C
- Zona 2 = mínima -5 °C; máxima 40 °C
- Zona 3 = mínima 0 °C; máxima 50 °C
- Zona 4 = mínima 0 °C; máxima 40 °C

La presión del viento sobre superficies cilíndricas se debe calcular por medio de:

$$P = 0.00482 V^2 \quad (2-7)$$

Donde:

P = presión del viento (kg / m²)

V = velocidad del viento de diseño (km / h)

Tabla XII. **Presiones del viento mínima para las diferentes zonas de carga mecánica**

Zonas de carga mecánica	Velocidad del viento de diseño	Presión del viento en kg/m ² sobre superficies cilíndricas
1	80	31
2	100	48
3	120	69

Fuente: CNEE. NTDOID. p. 26

- Tipos de cables tensores

Los cables para retenidas son hechos de hilo de acero (normalmente de 7 a 19 hilos) para que en caso de que uno o dos fallen no se produzca una falla completa del cable. Los hilos normalmente están galvanizados para que resistan los efectos del clima. Los hilos del cable pueden estar hechos de hierro suave o de alta resistencia, pero deben ser lo suficientemente fuertes para soportar las cargas impuestas en las retenidas.

Los cables acerados se encuentran en cuatro grados de resistencia, pero las cargas a las que se someten no deben de rebasar el 75 % de su carga máxima. Los cables tensores son sujetos a los postes y cruceros a través de pernos con ojo, guardacabos, abrazaderas, ganchos o pernos especiales que tienen dobleces para acomodar el cable. Además, es común que se conecten a las líneas neutrales, con lo que se consigue tener una línea con menores variaciones de voltaje.

2.3.4.3. Aisladores en líneas de distribución eléctrica

En toda línea eléctrica aérea los conductores deben ir aislados de los apoyos correspondientes. Normalmente, los conductores se usan casi siempre sin aislamiento propio, o sea, desnudos; por ello se necesita un elemento intermedio, llamado aislador.

Este aislador debe tener buenas propiedades dieléctricas, esto para que aislen totalmente los conductores bajo tensión en los apoyos que soportan la línea. La misión fundamental del aislador es evitar el paso de la corriente del conductor al apoyo. El paso de corriente puede producirse por las siguientes razones:

- Conductividad de masa: se produce a través de la masa del aislador como corriente de fuga.
- Conductividad superficial: en el contorno de la parte exterior del aislador por aumento de su conductividad, por la formación de una capa de humedad o de polvo sobre la superficie del aislador.
- Perforación de la masa del aislador: para altas tensiones, el peligro es un poco más alto, porque en los aisladores de gran espesor, es difícil fabricarlos, de tal manera que conserven sus propiedades dieléctricas en toda la masa.
- Descarga disruptiva a través del aire: cuando se forma un arco entre el conductor y el soporte a través del aire, donde la rigidez dieléctrica no es suficiente para evitar la descarga. En ocasiones, la rigidez dieléctrica del aire disminuye con la lluvia, porque los filetes de agua de lluvia que se desprenden de la superficie del aislador toman el potencial del conductor y se encuentran a menor distancia del soporte.

2.3.4.3.1. Conceptos sobre los aisladores

- Tensión sostenida a baja frecuencia: es el valor eficaz (rms) de la tensión que se puede aplicar a un aislador en condiciones específicas, sin causar flameo o perforación.
- Tensión de perforación a baja frecuencia: es el valor eficaz (rms) de la tensión aplicada a un aislador bajo condiciones específicas que origina una descarga disruptiva a través de cualquier parte del aislador.

- Tensión de flameo al impulso: es el valor de cresta de la onda de impulso que bajo condiciones específicas produce el flameo a través del medio circundante.
- Tensión crítica de flameo al impulso: es el valor de cresta de la onda de impulso que bajo condiciones específicas produce el flameo a través del medio circundante.
- Tensión al impulso: es el valor de cresta de la onda de impulso que bajo condiciones específicas debe resistir un aislador sin que produzca flameo o perforación.
- Distancia de fuga: es la suma de las distancias más cortas medidas a lo largo de las superficies aislantes entre las partes conductoras.
- Distancia de flameo en seco: es la distancia más corta medida a través del medio circundante entre las partes conductoras.

2.3.4.3.2. Materiales utilizados en la fabricación de aisladores

- Porcelana: está formada, particularmente con caolín y cuarzo. Los aisladores se cuecen a 1,400 °C y luego se recubren de una capa de esmalte de silicato, se produce a obtener un vidriado en caliente que los hace impermeables al agua, quedan resbaladizos, de esta forma se dificulta la adherencia de la humedad y el polvo; con ello se evitan los flameos sobre la superficie del aislador.
- Esteatita: es utilizado cuando los aisladores deben soportar grandes esfuerzos mecánicos, porque su resistencia mecánica es aproximadamente el doble que la de la porcelana y sus propiedades aislantes son mejores.

- Polímeros: este tipo de aislador tiene bastante aplicación en líneas de distribución, debido a sus dimensiones reducidas y menor peso, comparado con los aisladores de porcelana.
- Vidrio: el vidrio utilizado en los aisladores, es un vidrio cálcico alcalino, se obtiene por medio de un procedimiento especial mediante un enfriamiento brusco de aire frío durante el proceso de fusión, de esta forma se tiene un vidrio duro, con elevada resistencia mecánica.

2.3.4.3.3. Tipos de aisladores utilizados en líneas de distribución

- Aisladores tipo pin o espiga: están contruidos en una pieza para voltajes menores a 35 kv y en dos o tres piezas para voltajes arriba de 35 hasta 69 kv. Están formados con una ranura en la punta en donde el conductor se apoya y amarra, además este tipo de aislador puede estar formado con una ranura alrededor, donde debe apoyarse el conductor. También los contornos alrededor son generalmente usados para sujetar la línea, cuando cambia el ángulo y el conductor impone esfuerzos hacia algunos de los lados.

Se debe mencionar que tanto los aisladores de vidrio como los de porcelana, están formados para proveer un camino largo desde el conductor al punto de soporte donde el aislador es atornillado al pin.

Varias ondulaciones en el interior del aislador extiende el camino para que se marque un camino más largo o cualquier corriente que intentará circular sobre la superficie y que pueda provocar flameos debida a la humedad o contaminación.

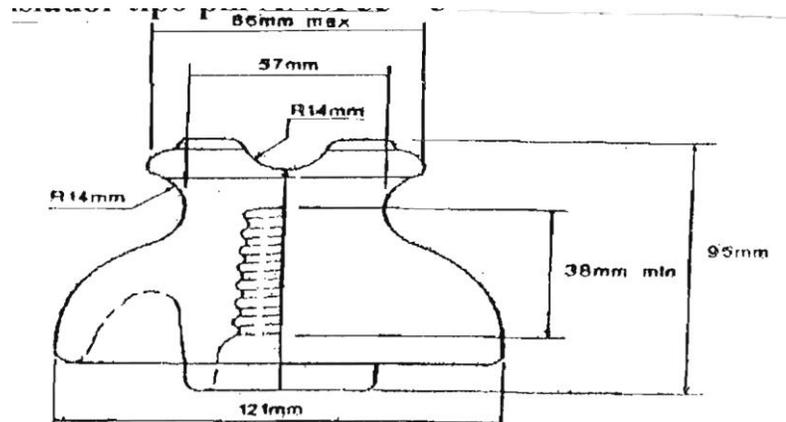
Tabla XIII. **Aisladores tipo pin de bajo y medio voltaje. Características.**

Característica	Clase ANSI 55-3	Clase ANSI 56-3
Distancia de fuga (mm)	178	533
Distancia de arco en seco (mm)	114	241
Altura mínima del espigo	127	203
Voltaje típico de aplicación	13.2	34.5
Flameo de baja frecuencia en seco	65 / 55	125
Flameo de baja frecuencia en húmedo	35 / 30	80
Flameo crítico al impulso positivo	100 / 90	140 / 130
Flameo crítico al impulso negativo	130 / 110	170 / 150
Voltaje de perforación a baja frecuencia	90	165
Voltaje de prueba RMS a tierra, kV	10	30
RIV máximo a 1000 kHz. , μV	5 500 / 50	16000 / 200
Peso neto por unidad, kg	0.92	6.94
Peso bruto por caja, kg	12.5	34.3

Fuente: Información técnica. Catálogo Electroporcelana GAMMA, S.A.

- Aisladores tipo cadena o suspensión: este tipo de aislador está provisto de una montura para una sujeción articulada. Están formados por dos o más aisladores acoplados, formando un acoplamiento articulado que reduce los esfuerzos mecánicos en virtud de que la línea se encuentra suspendida flexiblemente. Por tal razón, como un motivo para alargar más las cadenas agregando discos, se puede obtener distancias más grandes y utilizarlas para mayores voltajes. Varias cadenas pueden ser unidas en paralelo para soportar esfuerzos mecánicos más grandes.
- Aislador tipo carrete: estos tipos de aisladores son usados en los rack o cremalleras de las líneas secundarias para el soporte de líneas secundarias.

Figura 26. **Aislador tipo pin ANSI 55 – 3**



Fuente: Información técnica. **Catálogo Electroporcelana GAMMA, S. A.**

2.3.4.4. Accesorios y Herrajes

De los accesorios y herrajes a considerar se detallan a continuación los esenciales.

2.3.4.4.1. Grapas de suspensión y remate

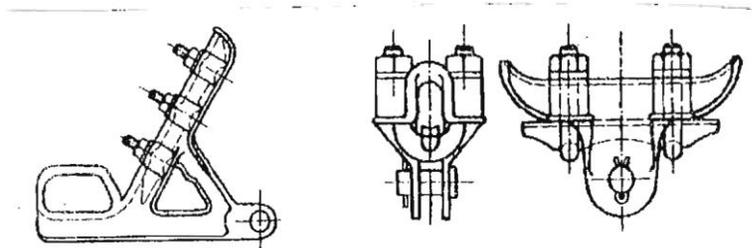
Generalmente para proveer una conexión flexible del conductor con el soporte, debe usarse la grapa de suspensión del tamaño apropiado. Las superficies de asiento y de empalme deben ser lisas y de forma adecuada para que puedan permitir una amplia variedad de ángulos para las diferentes condiciones de flecha y tensión a que se someten las líneas.

El uso de cada tipo de grapa queda establecido por el ángulo máximo de la línea, que debe acomodarse sin que el conductor tenga que flexionarse en radio demasiado pequeño en cualquier punto en contacto con la grapa.

Hay que ponerle sumo cuidado de controlar el torque de la tuerca en el perno de la grapa para evitar daños al cable y para proveer suficiente resistencia al resbalamiento. Donde pueda presentarse el problema de vibración, es deseable instalar protecciones para el cable, es decir, instalación de varillas preformadas.

Cuando se tiene grapas para conductores de aluminio y de aluminio acero, construidas de fundición maleable y no con el objeto de no dañar el conductor con los roces, se instala en las mismas una chapa de aluminio adecuadamente recortada. También conviene reforzar el conductor con una cinta de aluminio enrollada helicoidalmente o varillas preformadas dependiendo del tipo de estructura y que técnicamente abarque el área de contacto del conductor y la grapa.

Figura 27. **Grapa de suspensión y grapa de remate**



Fuente: Información técnica. Catálogo de HUBBEL power systems.

2.3.4.4.2. Alambres de amarre

Los alambres de amarre, se utilizan para sujetar los conductores a los aisladores de espiga. Es muy importante proveer un amarre seguro entre el conductor de la línea y su aislador. Los vientos fuertes, la vibración excesiva, el efecto de galope, las cargas severas y las tensiones no balanceadas entre las

diferentes longitudes de vano, tienden a aflojar o debilitar los alambres de amarre de los conductores más grandes.

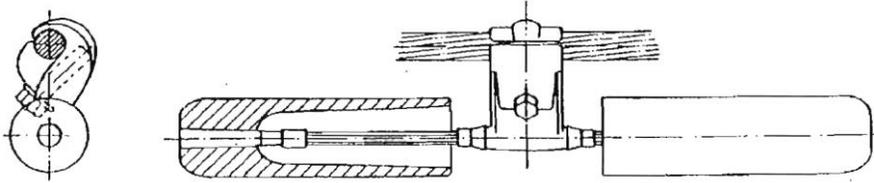
2.3.4.4.3. Amortiguadores

Se utilizan donde hay mucha oscilación de los aisladores en los conductores livianos sobre terrenos indicados. El uso de éstos contrapesos debe limitarse aún mínimo, debido al continuo peso extra impuesto al crucero. Cuando se instalan pesos es necesario proveer un libramiento adicional de soporte para prever los chispazos a la madera o a tierra.

Debe mencionarse como dispositivo antivibratorio más utilizado el amortiguador *struckbridge*, éste es un trozo corto de cable de acero con una masa en cada extremo, hace presión en su centro contra el conductor principal, junto a la pinza de fijación, esto forma una fuerza que actúa en sentido contrario a la dirección del movimiento del conductor.

Cuando se elige convenientemente el dimensionamiento del amortiguador, ésta fuerza ayuda a reducir la amplitud de las vibraciones. Se puede decir, que la acción del dispositivo es efectiva, si la frecuencia de las oscilaciones del conductor está cerca a la frecuencia de las oscilaciones propias del amortiguador.

Figura 28. **Amortiguador *stockbridge***



Fuente: Información técnica. Catálogo de Hubbel Chance.

2.3.4.4.4. Varillas preformadas

Estas son hilos de cable pretorcionados, en forma helicoidal y dispuestos para ser fácilmente enrolladas en el conductor como capa protectora que le sirve de refuerzo en los puntos de amarre a las estructuras de soporte.

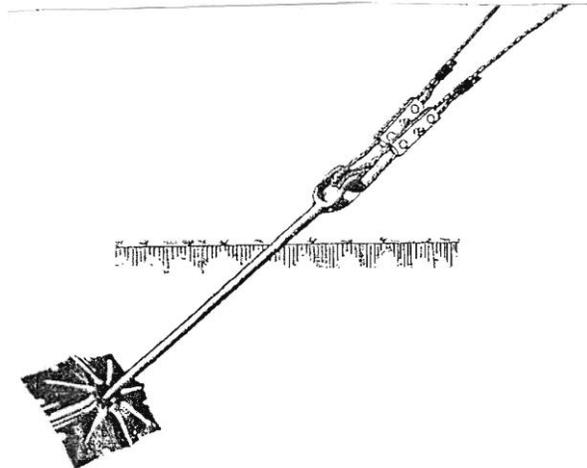
Las varillas preformadas incrementan el momento resistente del cable y distribuyen el esfuerzo de flexión, reducen la amplitud de la vibración eólica y protegen al conductor de daños mecánicos y de quemadas por chispazos.

2.3.4.4.5. Ancla expansiva

Tiene multihojas de una pieza, que se expande al impacto en terreno no perturbado para formar un cono en forma de cuadrado, que distribuye la fuerza retenedora del ancla alrededor del área haciendo presión sobre una pirámide invertida de tierra.

El ancla expansiva retiene su forma bajo cargas extremadamente pesadas ya que el plato base soporta las hojas en medio y distribuye la carga uniformemente sobre las hojas. Las costillas o nervios de refuerzo adicional le dan más resistencia.

Figura 29. **Colocación de ancla expansiva**



Fuente: Información técnica. Manual técnico Empresa Eléctrica.

2.3.4.5. Equipo de protección

La seguridad no deja de ser importante y a la vez es necesario contar con los equipos adecuados, estos se enumeran a continuación.

2.3.4.5.1. Corta circuitos

Los corta circuitos son equipos de protección utilizados generalmente para conectar transformadores (de tipo convencional) a las líneas de alimentación eléctrica primaria.

El corta circuito dentro de sus componentes tiene un elemento fundible, que al operar automáticamente desconecta al transformador de las líneas de distribución eléctrica, con la finalidad de prevenir sobrecargas. También desconecta la línea primaria del transformador, con lo que se aísla a la línea de una falla en el transformador, además se prevee la extensión del daño y la

interrupción de líneas que alimentan a otros clientes y transformadores servidos en el mismo circuito.

Los corta circuitos son usados para aislar partes de circuitos donde se realizan mantenimientos. El tamaño del fusible utilizado se basa en el tamaño de la carga o transformador instalado en la línea primaria que se protege. El calor generado en el fusible produce gas a presión, esto ayuda a la extinción del arco. Cuando los voltajes están arriba de 5,000 voltios, el fusible está montado en la apertura entre dos contactos, donde ambos polos son los extremos de un soporte de porcelana. El tubo que contiene al fusible se desconecta, cuando el fusible opera, es decir, el fusible se ha quemado.

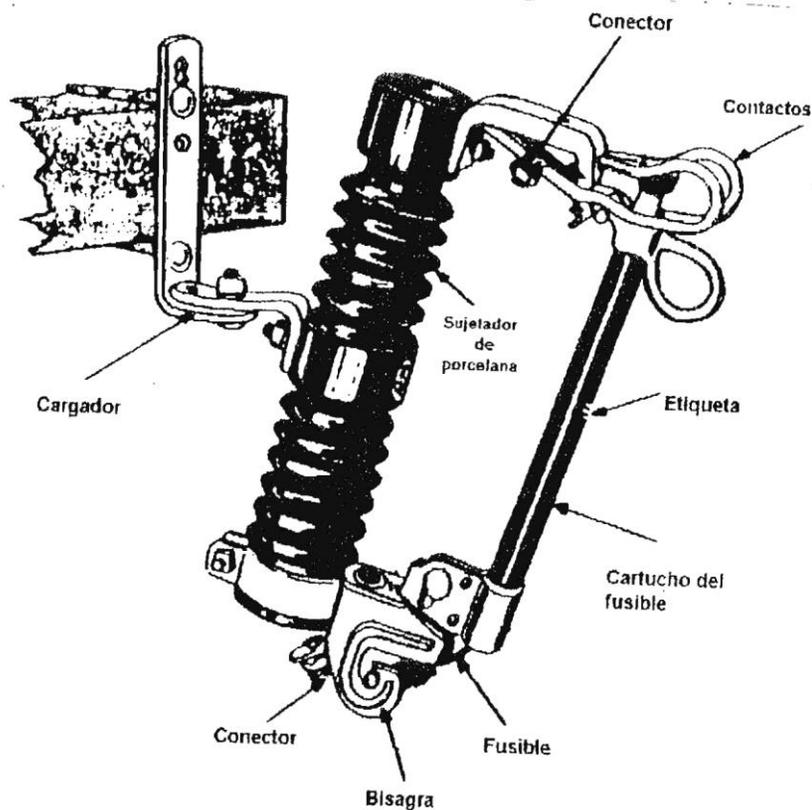
El tiempo que el fusible libera la falla es: la suma del tiempo de fundición y el tiempo de extinción del arco. Por tal razón, los fusibles son seleccionados por el voltaje, su capacidad nominal en amperios, su capacidad de interrupción y su curva de tiempo-corriente.

Son dispositivos diseñados a descargar las sobre tensiones producidas por descargas atmosféricas y por maniobras, se descargan sobre aisladores perforando el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico y en algunos casos desperfectos en los generadores, transformadores, etc.

Se define la operación del pararrayos como aquella que: cuando aparece una sobre tensión y excede el nivel de voltaje o cebado de los pararrayos, éste se convierte en un medio conductor. Por eso, los pararrayos consisten básicamente en una capa de aire encapsulado en serie con otros elementos, éstos poseen características especiales que ofrecen una resistencia o impedancia relativamente baja a la corriente producida por las ondas de alto

voltaje y una alta resistencia o impedancia al flujo de corriente en los relativos bajos voltajes de la línea de distribución donde está conectada.

Figura 30. **Corta circuito**



Fuente: Información técnica. **Catálogo de ABB.**

2.3.4.5.2. **Pararrayos**

Los pararrayos tienen que ser utilizados según sus cualidad por lo que se detallan las características de los mismos.

- Pararrayos auto valvulares: este tipo de pararrayos está formado por un explosor y una resistencia en serie. El explosor, está diseñado ajustado para que salte la descarga entre sus electrodos a determinada tensión de encebamiento del pararrayos, lo que establece la conexión con tierra a través de la resistencia.

Cuando se crea la disminución del valor de la sobre tensión, el explosor suprime a su próximo paso por cero, la corriente de la red, que se establece a la tensión de servicio y donde la intensidad está limitada por la resistencia.

La resistencia está formada por material aglomerado, tiene la propiedad de variar su resistencia con rapidez, se disminuye cuanto mayor es la tensión aplicada, adquiere un valor elevado cuando ésta tensión es reducida.

El funcionamiento del pararrayos, la tensión de servicio, opone mucha resistencia al paso de la corriente mientras que en caso de sobre tensión, su resistencia eléctrica disminuye, permitiendo de esta forma una fácil descarga a tierra. Los pararrayos son instalados tan cerca como sea posible del equipo o líneas que se quieran proteger, de manera que la resistencia de la conexión a tierra sea mínima. La conexión a tierra es muy importante, tal que el pararrayos no funcionará sin ella. Los pararrayos deben tener su conexión a tierra.

Tabla XIV. Voltajes de cresta para pararrayos de distribución

Nivel de voltaje (kV)	Voltaje de cresta (kV)	Nivel de voltaje (kV)	Voltaje de cresta (kV)
1.2	30	15	110
2.5	45	23	150
5.0	60	34.5	200
8.7	75	46	250
12.0	95	69	350

Fuente: PANSIN, Anthony i. Electrical Distribution Engineering. p 326

- Pararrayos de óxido de zinc: este pararrayos, es el último desarrollado en dispositivos de protección para sobre tensiones en sistemas de distribución. Aún no se ha generalizado debido fundamentalmente a su precio, comparándolo con los de tipo válvula. El material con que se fabrican los bloques, es de óxido de zinc, el cual tiene mejores características de no linealidad que los auto valvulares.

Debido a sus excelentes características de no linealidad y a sus bajas pérdidas a tensiones nominales de operación, es posible no utilizar entre hierro, esto permite reducir considerablemente el tamaño de éstos equipos y por supuesto su peso. Las características de tensión corriente dan a éste pararrayos descargar únicamente a un valor de corriente predeterminado, lo que hace posible mantener un nivel de protección adecuado al sistema.

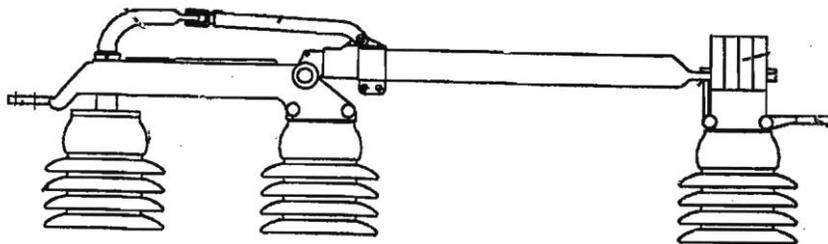
Tabla XV. **Características de los pararrayos de óxido de zinc y los autovalvulares**

Oxido de Zinc No requiere entrehierro	Autovalvulares Requiere entrehierro
Al no tener entrehierros conduce la corriente de descarga después que se presenta una sobretensión.	Debe llegar a una tensión de chispeo para descargar la energía debida a una sobretensión.
Es relativamente insensible al medio ambiente, sin embargo, es sensible a la temperatura, siendo ésta una variable importante en su diseño.	Bajo condiciones normales de operación es insensible al medio ambiente.

Fuente: ESPINOSA, Roberto. Sistemas de distribución. p. 592

- **Seccionadores:** los seccionadores son equipos eléctricos diseñados para operarlos sin carga. Su uso está limitado, donde pequeña o ninguna corriente deba ser interrumpida. Normalmente son instalados para permitir que una línea o equipo sea aislado de una parte energizada, los seccionadores proporcionan una indicación visual de la apertura de un circuito, lo que proporciona seguridad a los trabajadores.

Figura 31. **Vista de un seccionador**



Fuente: ABB Manual técnico. Pascor Atlantic.

2.3.4.6. Herramienta utilizada

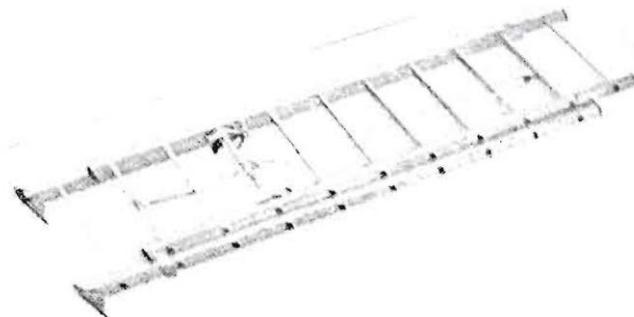
El contar con las herramientas adecuadas es importante, debido a que favorece la realización de las actividades de una forma correcta y con eficiencia.

2.3.4.6.1. Escalera de fibra de vidrio

La escalera tiene muchas aplicaciones en el mantenimiento de las líneas de distribución, ofrecen una posición cómoda y segura al personal. Tienen el nivel de aislamiento para evitar contactos con líneas energizadas y el personal. Son relativamente livianas y resistentes.

Las escaleras de fibra de vidrio soportan cargas de 125 a 136 kg. cuando están extendidas. Tienen una protección en el último peldaño para evitar daños a las líneas y una base de aluminio móvil en la parte inferior para asegurarla al suelo. Cuando se usan, se recomienda utilizar guantes de cuero y revisar su estado periódicamente.

Figura 32. **Vista de una escalera de fibra de vidrio**



Fuente: Manual técnico. Ferretería Lewonski.

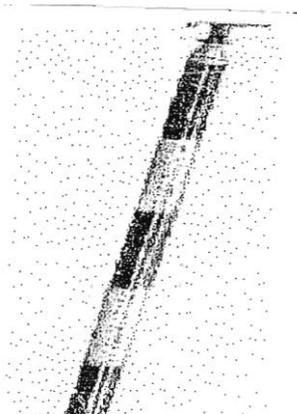
2.3.4.6.2. Pértiga

Está fabricada de fibra de vidrio, rellena de espuma de vidrio, posee un tapón de hule protector en la parte inferior y una cabeza de bronce. Por las características de los materiales de su construcción, ofrece la seguridad necesaria al hacer contacto con líneas energizadas. Se utiliza para abrir y cerrar interruptores de transformadores, cuchillas y corta circuitos.

Las pértigas no deben ser pesadas, deben ser de fácil manejo y en lo posible, diseñadas para desplegarlas telescópicamente con lo que se ahorra espacio. Este tipo de pértigas pueden llegar a medir hasta 5 metros de largo. En su cabeza se puede añadir accesorios para otras funciones.

También existe otro tipo de pértiga, conocida como pértiga de pistola, ésta se utiliza para instalar conectores tipo fargo. Esta pértiga es normalmente de menor tamaño, pero ofrece las condiciones de aislamiento para dar la seguridad.

Figura 33. **Pértiga de aislamiento tipo telescópica**



Fuente: catálogo de Hubbel Chance.Boletín técnico.

2.3.4.6.3. Mica

La mica, es una herramienta que se utiliza para tensar conductores. Debe poseer la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos a que se le somete.

Figura 34. **Mica de cable**



Fuente: catálogo de Hubbel Chance.Boletín técnico.

2.3.4.6.4. Caimanete manual

Es una herramienta que mayor uso tiene en la instalación de conectores. Se suministra con dados fijos. Existe una gran cantidad de accesorios que se instalan y que sirven para comprimir gran variedad de conectores de cobre y aluminio.

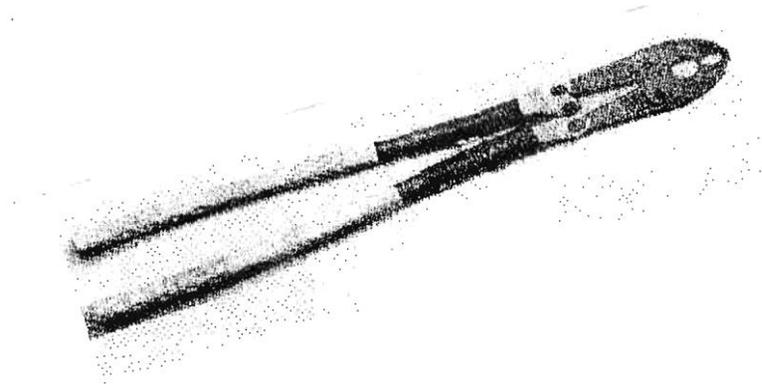
Esta herramienta es diseñada para más de 90,000 compresiones y se requiere que se le de algún mantenimiento para mantenerla en buenas condiciones de uso. Es importante mantenerle el ajuste apropiado, para que la compresión se haga completa.

Hay que considerar, que el caimanete manual está aislado para bajo voltaje, cuando se use en alto voltaje debe manejarse con la protección que se requieran las normas de seguridad.

Las partes del caimanete son:

- Patas de madera.
- Protectores aislantes.
- Dos quijadas.

Figura 35. **Caimanete manual**



Fuente: catálogo de Hubbel Chance.Boletín técnico.

2.3.4.6.5. Caimanete hidráulico

El caimanete hidráulico viene diseñado para más de 100,000 compresiones. Posee un mecanismo hidráulico que libera 12 toneladas de presión en sus mandíbulas. Tiene un diseño ergonómico, con lo que se facilita su operación y sus extensiones poseen el aislamiento necesario para utilizarlo sobre líneas energizadas de redes secundarias.

Figura 36. **Caimanete hidráulico**

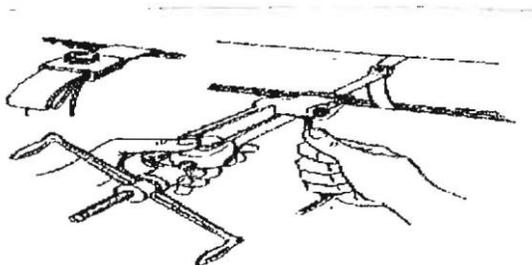


Fuente: catálogo de Hubbel Chance.Boletín técnico.

2.3.4.6.6. **Máquina band-it o flejadora**

Esta herramienta, se utiliza comúnmente para amarrar los conductores de tierra al poste. Es una cinta metálica, que se une en sus extremos a través de hebillas, las cuales se colocan con la ayuda de la máquina band-it.

Figura 37. **Máquina *band-it* o flejadora**



Fuente: catálogo de Hubbel Chance.Boletín técnico.

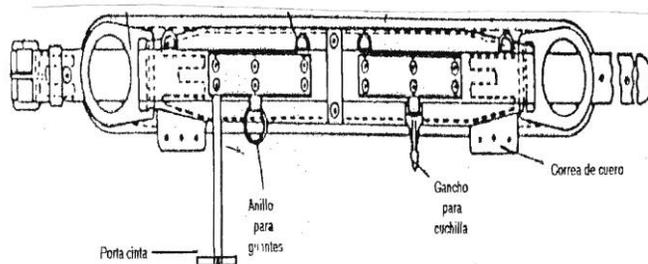
2.3.4.6.7. Cincho de herramientas

Es utilizado por el liniero, para acomodar sus herramientas tales como: cangrejo o llave ajustable, alicate, corta alambre, navaja, metro, destornillador, rollo de cinta, línea de mano, martillo o alguna otra herramienta que se use durante el trabajo.

El cincho se utiliza para asegurarse al poste, es importante que el personal lo revise seguido, para estar seguro de que está en buen estado.

También con el cincho, se utiliza la bandola, ésta es una faja de seguridad asegurada con el cincho, y que rodea al poste para asegurar al personal. Tiene una resistencia de 272 kg.

Figura 38. Cincho de herramientas



Fuente: catálogo de Hubbel Chance. Boletín técnico.

2.4. Instalación eléctrica de transformador rectificador de 6.2 MVA

En la industria nacional e internacional cuando se menciona el conjunto de transformador rectificador, se está considerando dos dispositivos eléctricos que aseguran las diversas transformaciones posibles de las características de

energía eléctrica; es decir, implícitamente se entiende el aprovechamiento de convertir la corriente alterna en corriente directa.

2.4.1. Descripción del transformador rectificador

Para tener conocimiento de los transformadores rectificadores se encuentran a continuación las características de estos.

2.4.1.1. Información del transformador rectificador

El transformador rectificador, son dos unidades eléctricas completamente diferentes, que en conjunto, tienen como finalidad transformar la corriente alterna en corriente directa a través de semiconductores no controlados, es decir, diodos. El transformador, es un equipo trifásico con devanado terciario, conexión en estrella en el lado de alta tensión y dos grupos en estrella en el devanado terciario en el lado de baja tensión.

Este transformador tiene una capacidad de 6.2 MVA, con un sistema de enfriamiento tipo OF / WF, es decir, circulación de aceite forzado y agua forzada. En la placa del transformador, se describe los siguientes datos eléctricos, con los cuales se logrará obtener más información del equipo en función.

Tabla XVI. **Datos del transformador rectificador**

Transformador Rectificador monofásico de 12 pulsos

Fabricante	Gec Rectifier Limited
Año de fabricación	1981
Marca	Hawker Siddeley
Potencia	6.2 MVA
Voltaje en DC	121 voltios
Corriente en DC	42.5 KA
Fases	3
Frecuencia	50 Hz
Conexión	Estrella/auto - Doble estrella XZ
Voltaje primario	11,000 voltios
Corriente	326 amperios
Tipo de uso	Interno
Tipo de enfriamiento	OF / WF
Flujo de aceite	341 lts. / min.
Flujo de agua	82 lts. / min.

Fuente: SIDDELEY, Hawker Manual de información técnica.

Tabla XVII. Posiciones del cambiador de derivaciones

VOLTS A3 B3 C3 (kv)	CON CARGA CAMBIADOR DE DERIVACIONES Posición No.	TRANSFORMADOR REGULADOR		VOLTS a1 a4 b1 b4 c1 c4 a11a14 b11b14 c11c14	
		CONEXIÓN FASE	VOLTS SALIDA		
		11	1		2-15
11	2	2-15	5-16	3210.76	66.2
11	3	2-15	6-16	3564.81	73.5
11	4	2-15	7-16	3918.87	80.8
11	5	2-15	8-16	4272.93	88.1
11	6	2-15	9-16	4626.98	95.4
11	7	2-15	10-16	4981.04	102.7
11	8	2-15	11-16	5335.10	110.0
11	9	2-15	12-16	5689.15	117.3
11	10	2-15	13-16	6043.21	124.6
11	11	2-15	14-16	6393.26	131.9
11	11/12 A	2-15	2-16	6751.32	139.2
11	13	3-15	4-16	7105.38	146.5
11	14	3-15	5-16	7459.43	153.8
11	15	3-15	6-16	7813.49	161.1
11	16	3-15	7-16	8167.55	168.4
11	17	3-15	8-16	8521.60	175.7
11	18	3-15	9-16	8875.66	183.0
11	19	3-15	10-16	9229.71	190.3
11	20	3-15	11-16	9583.77	197.6
11	21	3-15	12-16	9937.83	204.9
11	22	3-15	13-16	10291.88	212.2
11	23	3-15	14-16	10645.94	219.5

Fuente: SIDDELEY, Hawker Manual de información técnica.

Tabla XVIII. **Características de transductores**

Transductores reguladores			
Uso	No. de posición	Relación de corriente	No. de terminales
Control - bobinas	1	70 amp.	1, 2, 11, 12, 21, 22, 31, 32
Bias - bobinas	1	35 amp.	3, 4, 13, 14, 23, 24, 33, 34

Fuente: SIDDELEY, Hawker Manual de información técnica.

Tabla XIX. **Características de transformadores de corriente**

Transformadores de Corriente			
No. C.T.	USO	Relación / amp.	Clase
1	Relé de protección-corriente de falla	400 / 5	5P 10
2	Indicador temperatura de bobinas	360 / 2.7	5

Fuente: SIDDELEY, Hawker Manual de información técnica.

Tabla XX. **Datos del cambiador de derivaciones**

Cambiador de derivaciones / bajo carga	
Marca	ASEA
Uso	Cambiador de derivación, bajo carga
Fases	3
Frecuencia	50 Hz
Corriente	360 amperios
No. de posiciones	23
Vida de contactos	325,000 operaciones
Accionamiento de motor	415 V, 3 fases, 50 Hz
Contactores	110 voltios – 50 Hz

Fuente: SIDDELEY, Hawker Manual de información técnica.

2.4.2. Características del transformador rectificador

Normalmente cuando se menciona las unidades eléctricas transformador rectificador en la industria, implícitamente se comprende en el aprovechamiento de la energía eléctrica convertida de corriente alterna a corriente directa, en esta ocasión, una potencia de 6.2 MVA será aprovechada para el proceso de electrólisis.

2.4.2.1. Antecedentes técnicos

En la práctica los transformadores diseñados para ser usados en la rectificación son especiales, deben contener elementos eléctricos necesarios

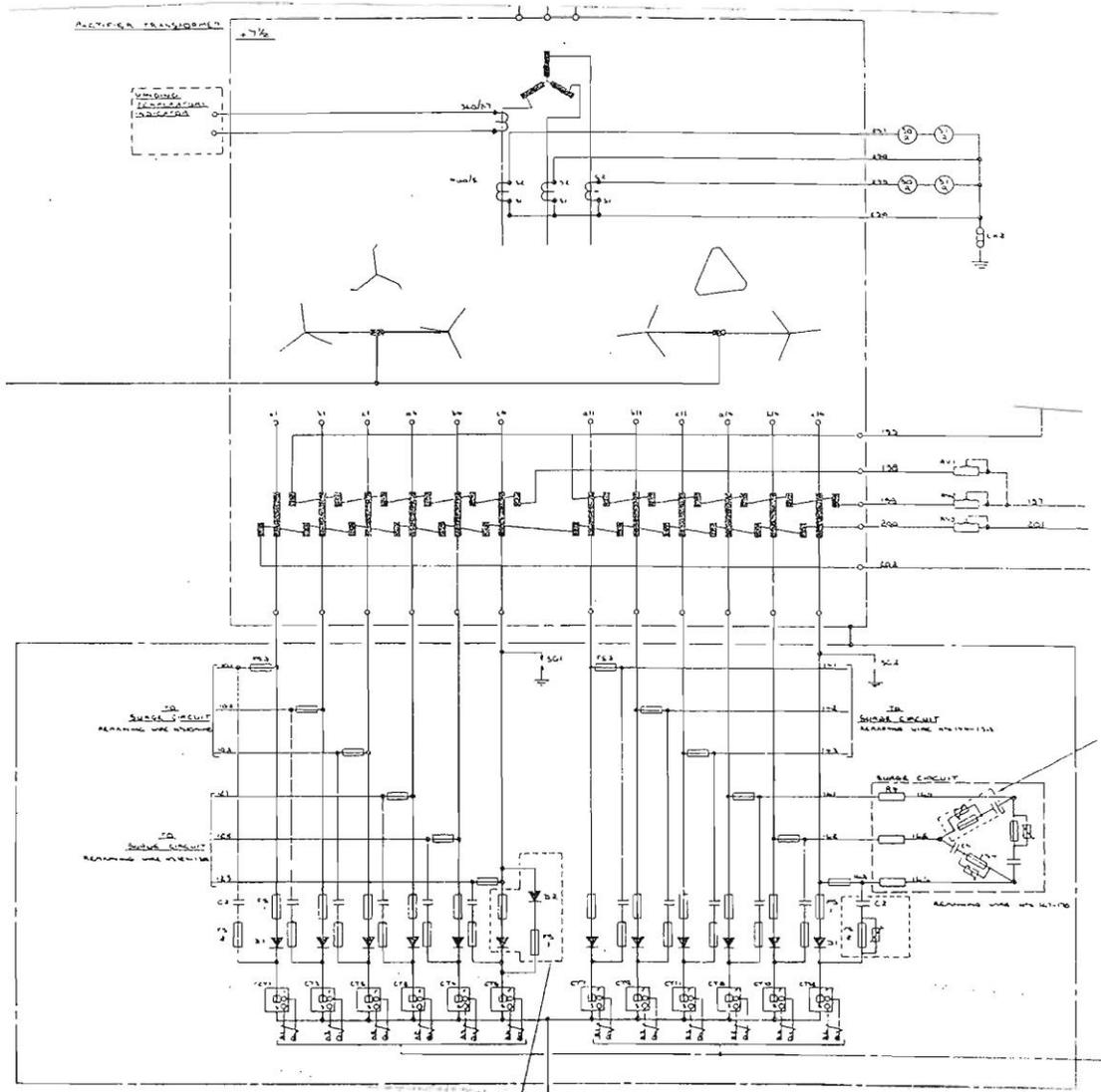
para su óptimo funcionamiento. Cada unidad transformadora comprende:

- Un auto transformador regulador con cambiador de derivación bajo carga.
- Transformador rectificador de 12 pulsos con 2 transformadores de interfase.
- 12 transductores eléctricos para el ajuste de voltaje
- Rectificadores con semiconductores no controlados, diodos y sistema de enfriamiento.
- 2 seccionadores en corriente directa
- Un conjunto de bombas para el enfriamiento con agua y para circulación del aceite del transformador.
- 2 paneles de control, para la unidad de potencia y mando; el otro para el sistema de protección.
- Un conjunto de control e instrumentación para la sala de control
- Un conjunto de barra para el transporte de la corriente continúa
- 1 panel de control de corrientes de falla de las celdas para electrólisis
- Dos intercambiadores de calor para el enfriamiento del aceite dieléctrico del transformador y el rectificador, usando agua desionizada.
- Dos transformadores de interfase que trabajan a 150 Hz y conectados al neutral del sistema, para la influencia de armónicos.
- Transductores eléctricos para los ajustes pequeños en corriente directa
- Transductores de corriente para sus respectivas protecciones
- Medidores de temperatura de aceite dieléctrico y devanados del transformador

2.4.2.1.1 Diagrama eléctrico del transformador rectificador

Con fines ilustrativos a continuación en la figura 39 se muestra el diagrama eléctrico de un transformador para rectificación.

Figura 39. Diagrama eléctrico de un transformador para rectificación



Fuente: SIDDELEY, Hawker Manual de información técnica.

2.4.2.2. Equipos auxiliares y accesorios del transformador

A continuación se enlistan los principales equipos y accesorios del transformador.

2.4.2.2.1. Indicador nivel del aceite

El indicador del nivel de aceite, se encuentra en la parte superior del transformador que muestra el aceite absorbido hacia la cuba. Es de tipo visual y se encuentra instalado aún costado del mismo. Este indicador muestra como se comporta el aceite a los cambios de temperatura externa, es decir, del ambiente con respecto a la carga que lleva en ese momento.

2.4.2.2.2. Indicador de temperatura del devanado

El indicador de temperatura refleja las mediciones de temperatura de las partes más calientes en el devanado del transformador. Este medidor es como una imagen térmica, es decir refleja la temperatura de los devanados en una forma indirecta y no puntual como una sonda de temperatura.

2.4.2.2.3. Indicador de temperatura del aceite

Este indicador de la temperatura del aceite del tanque del transformador, detecta la temperatura del aceite que rodea a los devanados. Las mediciones de temperatura son tomadas desde los devanados, que es la parte del transformador donde se eleva la temperatura. Este indicador está equipado con

un indicador del máximo punto de temperatura, mediante el cual se le da un indicativo a los mecanismos de control, que son los encargados de darle el respectivo enfriamiento al equipo y de esa manera evitar que se activen las alarmas en sala de control con la temperatura alta en el aceite del transformador.

2.4.2.2.4. Tanque conservador del aceite

El sistema de preservación de aceite consiste en un tanque llamado conservador, éste se coloca sobre el tanque principal del transformador, cuya función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura, provocados por los incrementos de carga. El tanque se mantiene lleno de aceite aproximadamente hasta la mitad. En caso de una elevación de temperatura, el nivel de aceite se eleva comprimiendo el gas contenido en la mitad superior si el tanque es sellado o expulsando el gas hacia la atmósfera a través del respiradero.

2.4.2.2.5. Respiradero deshidratante

En transformadores, el respiradero deshidratantes actúan de acuerdo a la temperatura. Están montados en la parte posterior del transformador, es la forma en la cual la humedad puede ser detectada fácilmente.

Su indicación es visual y detecta por el silicagel colocado dentro del respiradero y encapsulado, presentando un color rosado pálido cuando es nuevo y de color azul cuando se necesita cambio, por tanto, su indicación visual nos dará referencia para tomar acciones determinadas, según las características que presenta.

2.4.2.2.6. Sistema de enfriamiento

El transformador cuenta con un sistema de circulación del aceite dieléctrico, éste pasa a través de un intercambiador de calor, donde también se hace circular agua fría, producida por un *chiller* a la temperatura requerida. Además, el rectificador tiene un sistema de enfriamiento con agua helada y desionizada que pasa a través de la barra de aluminio, ésta es la que transporta la corriente directa de salida para la alimentación eléctrica de electrolizadores.

2.4.2.2.7. Boquillas

Son los aisladores terminales de las bobinas de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del transformador.

2.4.2.2.8. Válvulas

Es un conjunto de dispositivos que se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite dieléctrico del transformador.

2.4.2.2.9. Tablero

Es un gabinete dentro del cual se encuentran los controles y protecciones de los motores de las bombas de aceite, de calefacción del tablero, cambiador de derivaciones bajo carga, etc.

2.4.2.2.10. Ruedas de collar

Son los elementos donde descansa la cuba del transformador para ser movido cuando se necesita hacer una reparación o un mantenimiento.

2.4.2.2.11. Conectores de tierra

Son piezas de cobre soldadas al tanque, donde se conecta el transformador a la red de tierra.

2.4.2.2.12. Placa de características

Esta placa se instala en un lugar visible del transformador y en ella se graban los datos más importantes como su potencia, tensión, por ciento de impedancia, número de serie, diagramas vectoriales y de conexiones, número de fases, frecuencia, elevación de temperatura, altura de operación sobre el nivel del mar, tipo de enfriamiento, por ciento de variación de tensión en los diferentes pasos del cambiador de derivaciones, peso y año de fabricación.

2.4.3. Conceptos Generales sobre Rectificadores

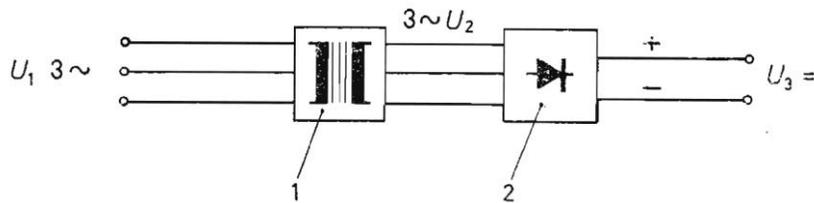
Se llaman rectificadores a toda serie de dispositivos que poseen en conjunto la capacidad de convertir la corriente alterna monofásica, polifásica o trifásica en corriente continúa.

Se conoce perfectamente que el transporte y distribución de la energía eléctrica es mucho más económico cuando se realiza con corriente alterna que cuando se hace con corriente continúa; pero debe mencionarse la necesidad en que se incurre para muchos dispositivos eléctricos y electrónicos de ser alimentados con corriente continúa.

Por esto, es importante mencionar que los rectificadores son dispositivos especiales, capaces de convertir la corriente alterna de la red en corriente

continúa, de tal manera que pueda ser asimilable por un dispositivo llamado consumidor, especialmente, en éste caso llamado electrolizadores.

Figura 40. **Esquema en bloques de un rectificador**



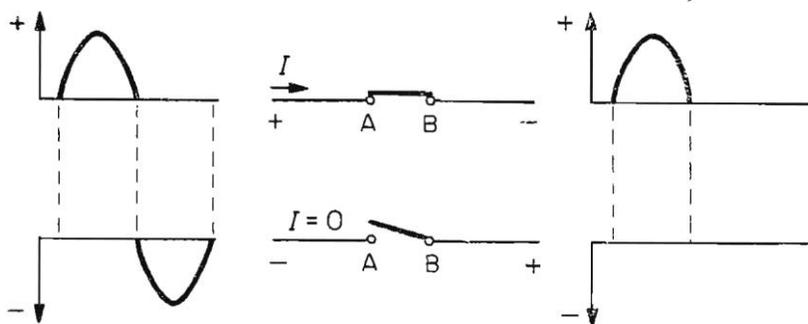
Donde: 1. representa el transformador elevador o reductor y
2 representa el rectificador.

Fuente: RAMÍREZ VÁZQUES, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 444.

2.4.3.1. Teoría elemental del rectificador

Generalmente un rectificador es un dispositivo que permite el paso de la corriente en un determinado sentido de circulación, pero no en sentido contrario.

Figura 41. **Principio de funcionamiento de un rectificador**

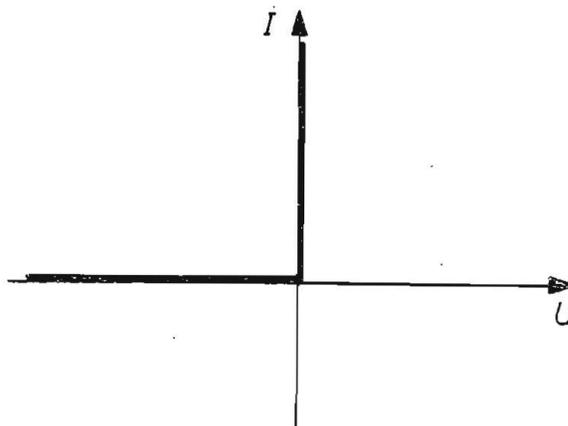


Fuente: RAMÍREZ VÁZQUES, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 444.

Cuando A es positivo respecto a B circula corriente, en caso contrario no.

Entonces, se dice que idealmente un rectificador posee la siguiente curva característica.

Figura 42. **Característica U / I de un rectificador**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUES, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 445

Debe saberse que en la realidad es prácticamente imposible de obtener un comportamiento como el de la curva; pero se puede definir que el rectificador presenta un comportamiento con una característica no lineal.

Al introducirse en el área de la electrónica, se presentan los dispositivos: diodos al vacío, diodos semiconductores y como dispositivo con más versatilidad el tiristor.

Además, se puede mencionar que existen otros grupos de rectificadores, dentro de ellos se puede mencionar los del grupo rotatorios, que como ejemplo están los del grupo Ward-Leonard, los conmutadores síncronos.

Al final existe una gran variedad de dispositivos con la capacidad de efectuar la función de rectificar la corriente alterna, hay distintas formas de interconectarlos, todo esto para aprovechar en mayor o menor grado la corriente porque con ello se reducen las pérdidas.

2.4.3.2. Resistencia directa y resistencia inversa en el rectificador

Antes de definir los conceptos de resistencia directa e inversa en un rectificador; se define que significa sentido directo.

Sentido directo, es aquel parámetro bajo cuya polaridad un dispositivo rectificador permite el paso de corriente y sentido inverso, es lo recíproco o sea, aquel parámetro bajo cuya polaridad un dispositivo rectificador no permite el paso de corriente. También se debe decir que en sentido directo corresponden valores positivos del voltaje (V) con una circulación de corriente y en sentido inverso corresponden valores negativos de voltaje (V) con una no circulación de corriente. Si se recurre al concepto de resistencia en un rectificador ideal, en función de:

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{Ley de Ohm}) \quad (2-8)$$

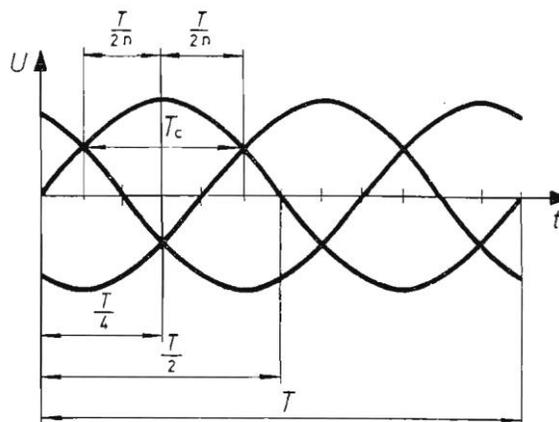
Cuando el valor del voltaje (V) es muy pequeño pero ligeramente positivo, existe una circulación de corriente que puede ser muy elevada; si se divide un voltaje pequeño dentro de una corriente muy grande el resultado de la resistencia es casi igual a cero, por ello la resistencia en sentido directo se le llama resistencia directa y su valor en un rectificador ideal es cero ohmios. De la

misma manera, en sentido inverso, se tiene un elevado valor de voltaje (V) y no hay circulación de corriente, entonces al dividir éste voltaje entre la corriente el resultado es prácticamente cero, es infinito; por ello la resistencia en sentido inverso se le llama resistencia inversa y su valor en un rectificador ideal es infinito. Hay que aclarar que los valores de resistencia directa e inversa sólo se presentan en rectificadores ideales, mientras que para ser considerados en rectificadores reales sólo se logran valores aproximados en forma relativa.

2.4.3.3. Relaciones entre tensiones y corrientes en los rectificadores

Para hacer el estudio sobre tensiones y corrientes no se tomará en cuenta los distintos tipos de rectificadores que existen en el mercado, sino que se lleva en forma general para una corriente alterna trifásica; pero se aclara que los valores y cálculos son válidos para cualquier número de fases rectificadas.

Figura 43. Tensión alterna trifásica con indicación de los períodos y fracciones de los mismos



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 449.

Se muestra la tensión alterna trifásica que se desea rectificar, se supone efectuar la rectificación con tres rectificadores ideales para cada fase. Se aprecia que cualquiera que sea el número de fases que se rectifiquen, la corriente circulará entre un borne del transformador y el ánodo de su respectivo elemento rectificador lo hará en el período de tiempo comprendido entre:

Para un período negativo y positivo:

$$\frac{T}{4} - \frac{T}{2n} \quad \text{y} \quad \frac{T}{4} + \frac{T}{2n} \quad (2-9)$$

Sustituyendo valores en fórmula de valor eficaz, para 3 fases se tiene:

$$I = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{12.56}} = \quad (2-10)$$

$$I = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{2} + 0.20} =$$

Se sustituye: $0.20 = 0.40/2 \Rightarrow I = I_{\max} \sqrt{1/2 + 0.40/2}$

187

$$I = I_{\max} \sqrt{1.40} / \sqrt{2} \quad (2-11)$$

150

Si se desarrolla ésta operación racional se observa que su valor es superior al de $1/\sqrt{2}$, por lo tanto la corriente eficaz también es superior tal y como debe ser. Se ha desarrollado la rectificación de corriente alterna senoidal, pero las relaciones y los valores son válidos para los voltajes, solamente se necesita cambiar el valor de I por el de V.

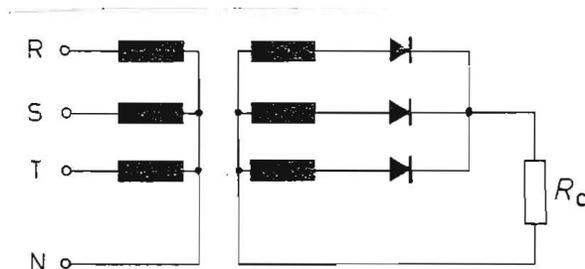
Es importante mencionar, que cuanto mayor es el número de fases rectificadas, más se aproxima la corriente o voltaje eficaz al valor de la componente continúa y por ello se obtiene una rectificación de mejor calidad.

2.4.3.4. Rendimiento de un rectificador

El cálculo del valor del rendimiento de un rectificador viene expresado de la siguiente forma:

$$n = \frac{P_c}{P_{ca}} \quad (2-12)$$

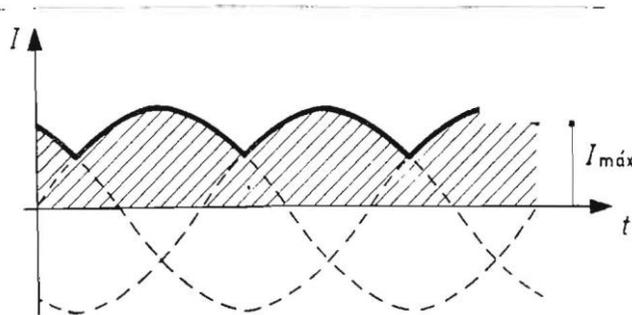
Figura 44: Rectificador para convertir la tensión alterna trifásica



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 450.

Si se considera la corriente que circula desde los cátodos de los rectificadores hasta la resistencia de carga R_c , adquiere la siguiente forma.

Figura 45: **Corriente rectificada del rectificador**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 451.

Entonces, la corriente pulsante, que se halla compuesta por los picos de tantas corrientes anódicas como fases se rectifican. El valor eficaz es:

$$I = I_{\max} \sqrt{1 + \frac{n \sin^2 \frac{2\pi}{n}}{2}} \quad (2-13)$$

El valor de ésta corriente eficaz debe ser algo superior al de una corriente alterna monofásica, es decir:

$$I = I_{\max} \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2-14)$$

Según sea el valor de n (n representa el número de fases), con esto se cumple sobradamente en el valor dado.

Si por ejemplo, se tiene tres fases ($n = 3$), entonces por la fórmula nos queda:

$$I = I_{\max} \sqrt{1 + \frac{n \sin 2\pi}{2 \cdot 4\pi} \frac{=}{n}} \quad (2-15)$$

$$I = I_{\max} \sqrt{1 + \frac{3 \sin 120^\circ}{2} \frac{=}{12.56}}$$

$$I = I_{\max} \sqrt{1 + \frac{3 \sin 120^\circ}{2} \frac{=}{12.56}}$$

Donde:

n = rendimiento.

P_c = potencia de corriente continua a la salida del rectificador.

P_{ca} = potencia de corriente alterna que se le suministra.

Para obtener el valor del rendimiento de un rectificador en tanto por ciento, se debe multiplicar el valor de la expresión anterior por cien, queda así:

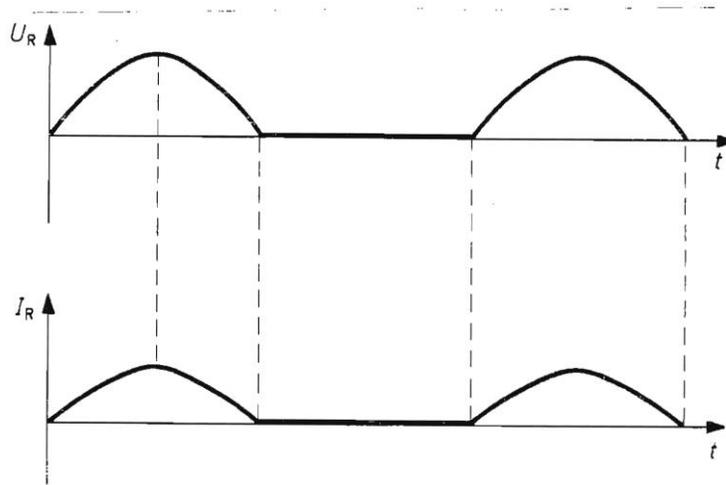
$$n \% = \frac{P_c * 100}{P_{ca}} \quad (2-16)$$

2.4.3.5. Comportamiento con carga de un rectificador

Se entiende que en un rectificador, la corriente o el voltaje rectificado se puede aplicar a uno o más consumidores y éstos pueden ser resistencias puras, resistencias inductivas o resistencias capacitivas.

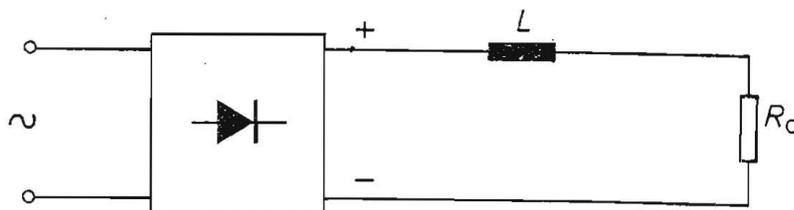
Carga resistiva: en este tipo de carga en el rectificador el voltaje y la corriente están perfectamente en fase. Los máximos valores, tanto del voltaje como la corriente se alcanzan simultáneamente, la carga no presenta ninguna acción de sobre tensión o sobre intensidad en el rectificador.

Figura 46. **Influencia de la carga resistiva en la rectificación: voltaje y corriente están en fase**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 460.

Figura 47: **Rectificador con carga inductiva**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 461.

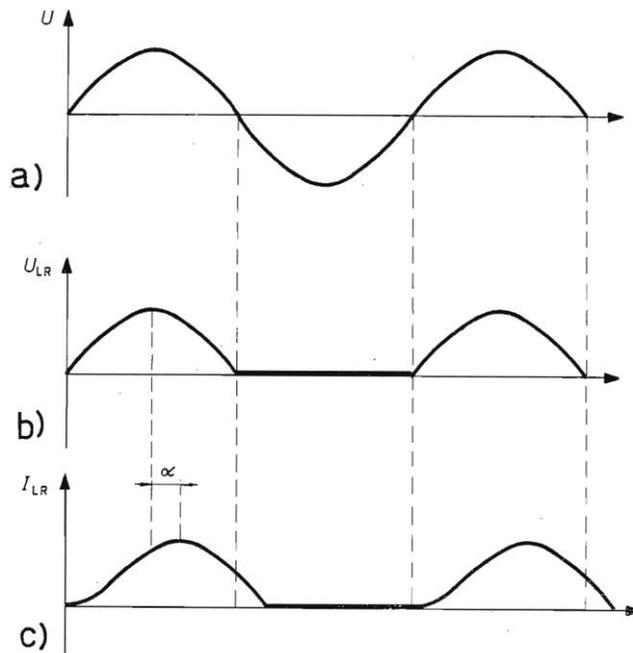
Carga inductiva: en los rectificadores reales aparece en su salida una oscilación, se hace necesario filtrar y estabilizar el voltaje y la corriente para obtener valores estables. Para lograr filtrar y estabilizar tanto el voltaje como la corriente se utiliza como método conectar a la carga y en serie una bobina para observar todas las ondulaciones.

Hay que mencionar que debido a esta bobina conectada el voltaje y la corriente a la salida del rectificador sufre algunas variaciones, éstas son:

- El máximo valor de la corriente, valor de cresta de la ondulación aparece después del máximo valor de la tensión.
- La corriente rectificada continúa un cierto espacio de tiempo, después de que se ha producido la inversión de polaridad de voltaje aplicado al rectificador.
- Cuanto mayor sea el cociente $L / R_L + R_c$ mayor será el desplazamiento que sufrirá el valor cresta de la intensidad con respecto al voltaje.

Se puede ver que el voltaje a rectificar una vez rectificado y aplicado sobre el conjunto $L R_c$, produce una intensidad cuyos valores máximos se hallan desfasados un cierto ángulo α respecto al voltaje.

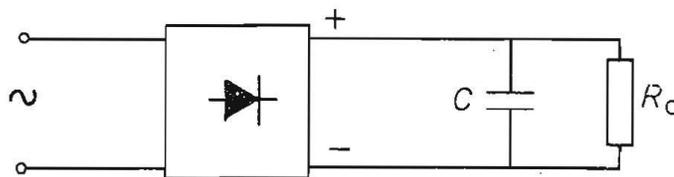
Figura 48: **Influencia de la carga inductiva en la rectificación**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 462.

Carga Capacitiva: una forma para lograr mejorar la estabilidad y la uniformidad de la corriente y el voltaje rectificado es utilizando una conexión en paralelo con la resistencia de carga un condensador.

Figura 49: **Rectificador con carga capacitiva**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 463.

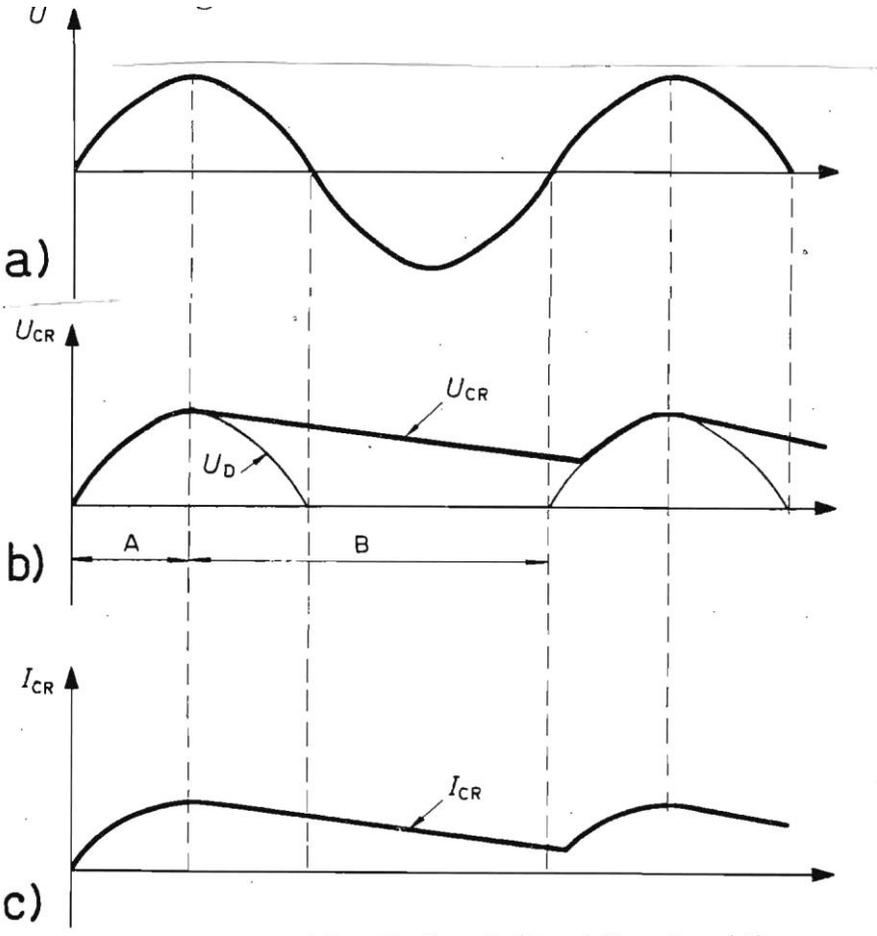
La presencia del condensador o de igual forma la reactancia capacitiva permite que durante la primera mitad de un semiperíodo positivo el condensador se cargue. Tan sólo el voltaje aplicado al rectificador cambie de polaridad, el condensador que ya está cargado comienza a descargarse sobre la resistencia de carga, produciendo en ella el paso de una corriente cuyo valor decrece poco a poco hasta que se presenta el próximo semiperíodo positivo en donde el condensador es nuevamente cargado.

El tiempo de carga del condensador es muy corto, pero para llevar a cabo su carga, sólo actúa la resistencia directa del rectificador, la cual es pequeña; mientras que el tiempo de descarga depende de la constante de tiempo RC, en donde R es la resistencia de carga del circuito sobre la que se descarga el condensador C, (ver figura 50).

Puede observarse que el voltaje y la corriente que son aplicadas en el consumidor son mucho más estables, presentando menos ondulación. A la vez puede verse que cuando comienza la rectificación, el condensador es cargado por el voltaje rectificado (zona A), cuando el voltaje rectificado comienza a descender, es el condensador, ya cargado, el que asume la función de suministrar corriente a la resistencia de carga (zona B), hasta que aparece un nuevo semiperíodo positivo que repone la carga del condensador.

Se podría decir, que la corriente rectificada queda algo adelantada con respecto al voltaje rectificado, pero ello no es completamente cierto debido a la aparición conjunta del voltaje rectificado y de la del condensador.

Figura 50. **Influencia de carga capacitiva en la rectificación: el voltaje y la corriente que circula por la carga se mantiene debido a la carga del condensador**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 464.

2.4.3.6. Conexión en serie y paralelo de los elementos de los rectificadores

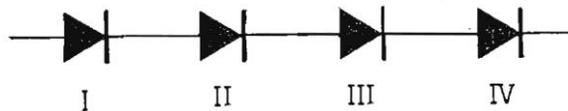
En algunos casos, la potencia suministrada por un rectificador no es suficiente, debido a las necesidades del consumidor. Entonces para solucionar

este problema dos o más elementos rectificadores en serie o en paralelo, según sea la necesidad de mayor voltaje o corriente.

Sin embargo, tanto en la conexión en serie como en la conexión en paralelo, aunque los elementos rectificadores, aunque los elementos conectados todos sean originalmente idénticos, sus características presentan ciertas variaciones de unos con respecto a otros, debido a las tolerancias constructivas.

Para obtener un voltaje elevado se conecta un grupo de elementos rectificadores en serie, sucede que los elementos rectificadores al pasar del estado de conducción al de no conducción; es decir, cuando cambia la polaridad del voltaje a rectificar, no todos dejan conducir corriente al mismo tiempo, sino que lo hacen con pequeñas diferencias de tiempo, a causa de este fenómeno, el elemento que primero impide el paso de la corriente, se encuentra con que por unos instantes se aplica en él todo el voltaje inverso a rectificar, para lo cual no está dimensionado.

Figura 51. **Conexión de rectificadores en serie**

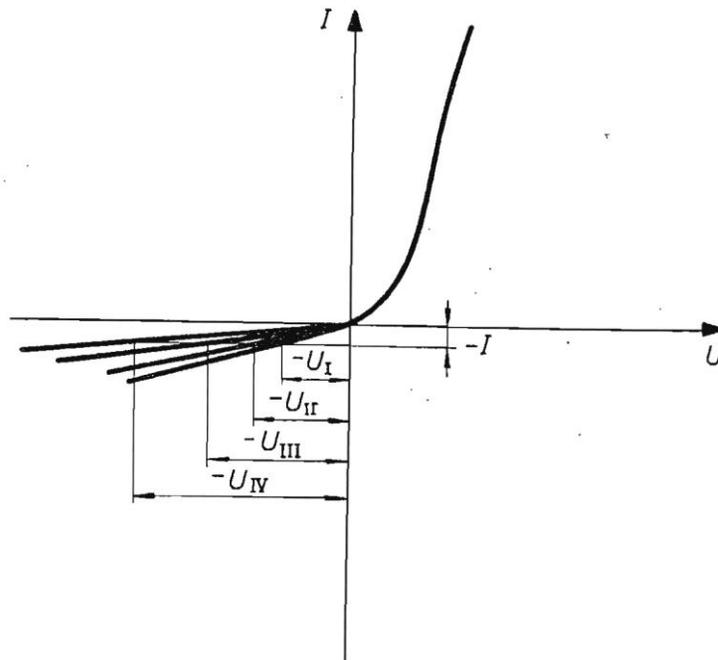


Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 469.

Se presentan las características I / U de los cuatro elementos rectificadores, los voltajes inversos no coinciden plenamente, para una misma

corriente inversa, entonces, el elemento IV soporta un voltaje mucho mayor que los restantes.

Figura 52. **Distintos voltajes inversos que soportan elementos rectificadores**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 470.

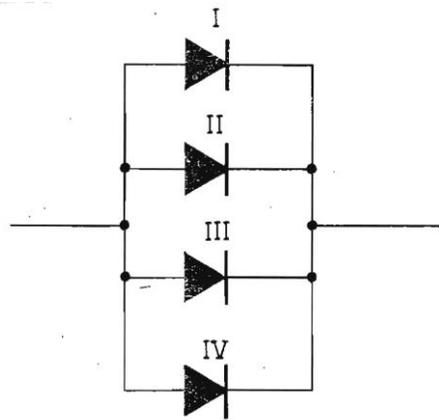
Este hecho, se presenta tan solo por unos instantes pequeños, dentro de los cuales la corriente inversa se hace tan pequeña que la del voltaje se reparte por igual en todos los diodos.

Para solucionar este problema, se conectan en paralelo a cada elemento rectificador una resistencia y un condensador en paralelo.

Para obtener una elevada corriente se conectan los elementos rectificadores en paralelo. En esta conexión el problema que se presenta es que en el sentido directo de conducción, no todos los elementos rectificadores conducen la misma corriente; debido a las pequeñas diferencias de tolerancia de los elementos rectificadores de un mismo tipo.

Al presentarse entre elementos rectificadores de un mismo tipo pequeñas diferencias en sus resistencias directas, ocurre que al ser sometidas todos a un mismo voltaje, las corrientes que por ellos circulan están en razón inversa a sus resistencias; si las corrientes son distintas se producen en los diodos calentamientos distintos, según sea el valor de estas corrientes, pueden destruir los elementos rectificadores.

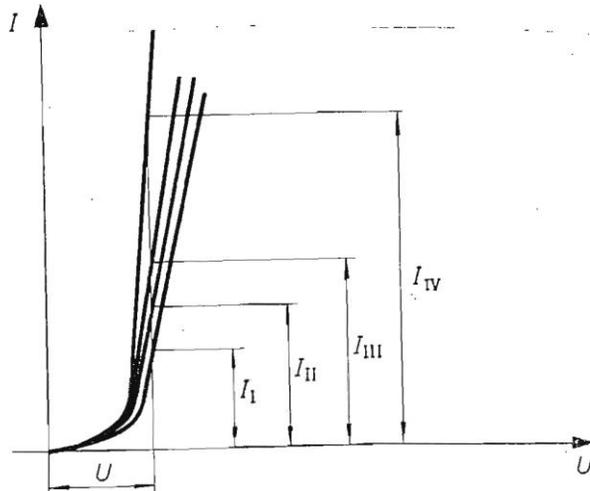
Figura 53. **Conexión de rectificadores en paralelo**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 471.

La característica directa de los cuatro elementos rectificadores es que las resistencias directas presentan unas pequeñas variaciones que repercuten en el paso de la corriente.

Figura 54. **Distintas intensidades directas que circulan por los rectificadores**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 471.

Para solucionar el problema que se presenta cuando se conectan en paralelo rectificadores, se recurre a montar uno encima de otro, como si entre ambos formasen un solo elemento rectificador; esto sin embargo crea problemas tanto para el fabricante como para el usuario para el momento de sustituirlos.

También se puede solucionar el problema dotando a los rectificadores de elementos de refrigeración, para evitar la destrucción de los elementos.

2.4.3.7. Potencia de disipación de rectificadores

La potencia de disipación de rectificadores viene definida por el voltaje en bornes del diodo y corriente eficaz por cada fase que por él circula, de acuerdo a:

$$PD. = I_f \cdot VD. \cos \alpha \quad (2-17)$$

Donde:

PD = la potencia de disipación

I_f = corriente eficaz por fase que circula en el diodo

VD = tensión en bornes del diodo

α = ángulo de desfase que puede existir entre el voltaje y la corriente debida a la carga.

La potencia de disipación del rectificador es relativamente reducida cuando en sentido directo el voltaje entre sus bornes es muy pequeño y que en sentido inverso la corriente adopta valores muy reducidos. De todas formas, es lo suficientemente importante como para producir calentamiento en los rectificadores.

Se puede decir que éstos calentamientos provocados por la potencia de disipación, quienes alteran un determinado valor, producen la total destrucción de los rectificadores. Por lo tanto, se integra a los rectificadores, unos sistemas de refrigeración que permiten disipar al medio ambiente el calor en ellos, para no causar problemas a su funcionamiento.

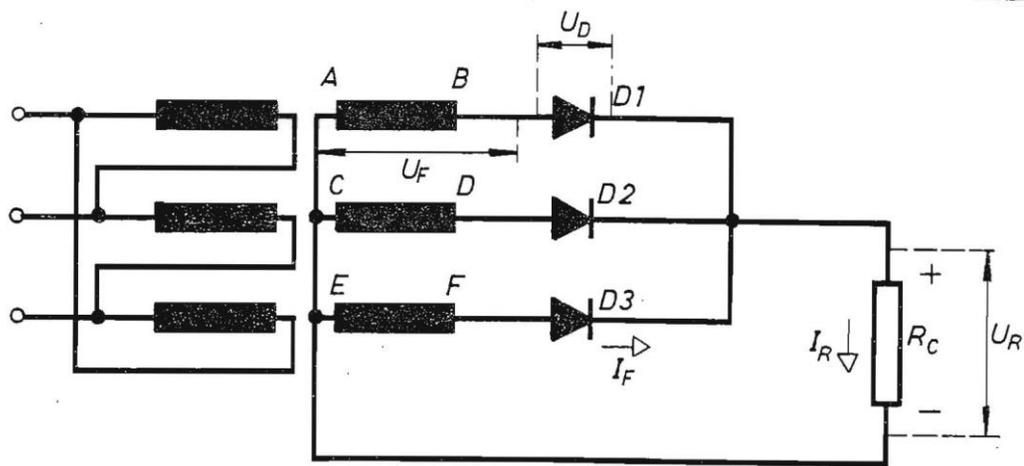
2.4.4. Rectificadores trifásicos de onda completa

El estudio de los rectificadores trifásicos es importante porque la gran mayoría de los transportes de energía eléctrica lo realizan por medio de corrientes trifásicas y luego convertirlas en corrientes continuas.

2.4.4.1. Rectificador trifásico de media onda

El circuito básico para rectificar la corriente y tensión alterna trifásica, consiste en la colocación de cada una de las fases, de un elemento rectificador y luego reunir los cátodos de todos los elementos rectificadores en uno de los bornes de la carga, concretamente en el positivo.

Figura 55. Rectificador trifásico de media onda, alimentación conectado en estrella



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 509.

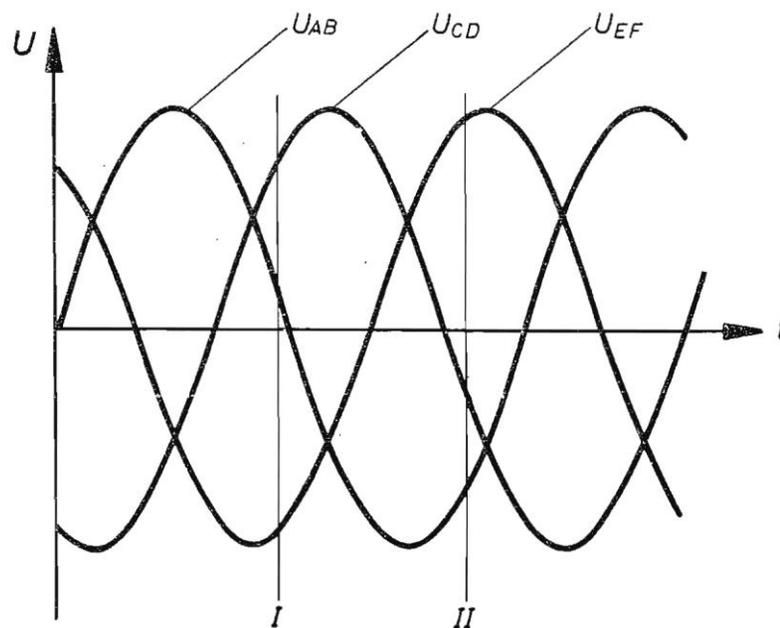
El rectificador trifásico de media onda sólo puede ser alimentado por transformadores cuyo secundario posee punto neutro, es decir, conectado en estrella en zig zag.

Para comprender el funcionamiento del rectificador de media onda, la tensión alterna trifásica suministrada por los devanados secundarios de los transformadores, cada una de las tensiones L1, L2 y L3 se hallan desfasadas

120° son respecto a las otras dos, de los devanados secundarios se presentan unos máximos de tensión desfasados también entre si 120°. Se toma un instante cualquiera marcado con I.

En el instante I, los bornes B y D son positivos, el D, mucho más que el B, con respecto a los correspondientes A y C, mientras que el borne F es negativo con respecto a su correspondiente E.

Figura 56. **Tensión alterna trifásica suministrada por los bobinados dealimentación**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 509.

Se tiene un instante que los diodos o elementos rectificadores D1 y D2 permiten el paso de la corriente eléctrica; el diodo D2 permite un paso más elevado debido al potencial a que se halla sometido el borne D; por el contrario en el instante I, el diodo D3 no permite el paso de la corriente.

En el instante II, las circunstancias han cambiado, el borne F es positivo con respecto a E, mientras que los bornes B y D son negativos con respecto a sus correspondientes A y C. Entonces el elemento rectificador D3 permite el paso de la corriente; mientras que los diodos D1 y D2 bloquean su paso.

Aunque puede presentarse el caso de que dos elementos rectificadores permitan al mismo tiempo el paso de la corriente, la tensión que se aplica a la carga es en todo momento la tensión que posee los bornes B, D y F.

El rectificador trifásico de media onda presenta un problema similar al que presenta el monofásico de media onda; la corriente sólo circula en un sentido a través de los embobinados de los devanados secundarios, obligando con ello a sobredimensionar el núcleo del transformador para evitar que alcance la saturación magnética.

El estudio técnico de este rectificador, los valores de corriente y tensión continuas rectificadas, se expresan así:

Deducción de fórmula para la corriente y de igual forma es para la tensión.

$$I_c = \frac{3}{\pi} I_{\max} \sin \frac{180^\circ}{3} \quad (2-18)$$

$$I_c = \frac{3}{\pi} I_{\max} \sin 60^\circ = \frac{3}{\pi} I_{\max} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} I_{\max}$$

Para la corriente: $I_c = 0.82 I_{\max}$ (2-19)

Para la tensión: $V_c = 0.82 V_{\max}$ (2-20)

El valor máximo de la corriente continua rectificada viene determinada por la expresión:

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{R_c + R_D} \quad (2-21)$$

Donde:

R_c = resistencia de carga

R_D = resistencia directa del rectificador

El valor máximo de la tensión continua rectificada aplicada a R_c , se obtiene multiplicando la expresión anterior por R_c .

$$I_{\max} \times R_c = \frac{V_{\max} \times R_c}{R_c + R_D} = V'_{\max} \quad (2-22)$$

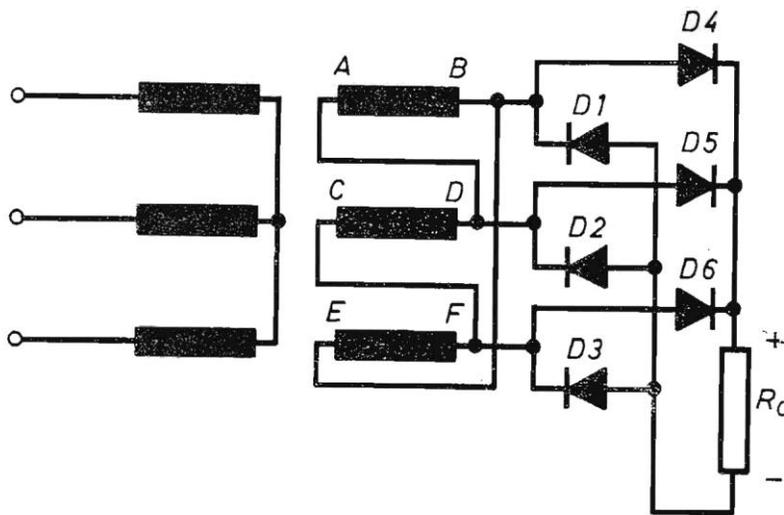
En cuanto menor sea el valor de R_D , V_{\max} es igual a V'_{\max} . En la práctica se consideran iguales.

2.4.4.2. Rectificador trifásico de onda completa

El rectificador trifásico de onda completa es una ampliación del rectificador trifásico de media onda; cada una de los terminales de salida de los

devanados secundarios del transformador van conectados al cátodo y ánodo de dos elementos rectificadores, de esta forma el terminal de salida es positivo, envía corriente al elemento rectificador cuyo ánodo tiene conectado y cuando es negativo la recibe el elemento cuyo cátodo tiene igualmente conectado.

Figura 57. **Rectificador trifásico de onda completa**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 516.

Si se considera el devanado A-B, cuando B sea positivo con respecto a A la corriente que de él salga se dirigirá hacia el elemento rectificador D4, no pudiendo pasar por D1, ya que en este momento está bloqueado, pues recibe tensión positiva en su cátodo.

Cuando B se haga negativo con respecto a A, la corriente que por él entrará provendrá del elemento rectificador D1 que ahora si permite el paso de corriente, mientras que D4 bloqueará el paso de la misma. Esto sucede en los tres bobinados secundarios, pero no simultáneamente, sino con un ligero tiempo de desfase, provocado por la misma corriente trifásica; mientras en un

embobinado, donde el A B, la corriente va de A a B, en los otros dos, o quizás en uno sólo, depende del momento en que se haga referencia, la corriente de D a C o de F a E; la corriente que en los bobinados es alterna se convierte, debido a la acción conjunta de los diodos, en corriente continúa que atraviesa la resistencia de carga R_c siempre en el mismo sentido y luego se reparte en las bobinas según la polaridad instantánea de éstas.

En el análisis técnico matemático de las tensiones y corrientes para un rectificador trifásico de onda completa, vienen determinadas por las expresiones:

$$I_c = \frac{6}{\pi} I_{\max} \sin \frac{180^\circ}{6} \quad (2-23)$$

$$I_c = \frac{6}{3.14} I_{\max} \sin 30^\circ = I_{\max} \frac{209}{3.14} \times \frac{1}{2} =$$

Para la corriente: $I_c = 0.93 I_{\max}$ (2-24)

Para la tensión: $V_c = 0.93 V_{\max}$ (2.25)

La corriente de pico rectificada, esta expresada por:

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{\dots} \quad (2-26)$$

$$R_c + 2R_D$$

Cuando se trabaja con rectificadores puente, los diodos o elementos rectificadores que se encuentran en serie con la resistencia de carga son siempre dos.

Para este tipo de rectificador, tensión máximo en la carga es:

$$V'_{\max} = I_{\max} R_c = \frac{V_{\max} \times R_c}{1 + \frac{2R_D}{R_c}} \quad (2-27)$$

Si en la práctica, R_c es mucho mayor que R_D , entonces, se obtiene

$$V'_{\max} = V_{\max} \quad (2-28)$$

El valor de la corriente rectificada es:

$$I = I_{\max} \frac{\sqrt{1 + \frac{6}{4I} \frac{\sin 2 \times 180^\circ}{6}}}{2} \quad (2-29)$$

$$I = I_{\max} \frac{\sqrt{1 + \frac{6}{4I} \sin 60^\circ}}{2}$$

$$I = I_{\max} \frac{\sqrt{1 + \frac{6}{4 \times 3.14} \frac{x \sqrt{3}}{2}}}{2}$$

Para la corriente: $I = 0.95 I_{\max}$ (2-30)

El valor del voltaje rectificado es:

$$V = V_{\max} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4I} \frac{\sin 2 \times 180^\circ}{6}} \quad (2-31)$$

$$V = V_{\max} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4I} \sin 60^\circ}$$

$$V = V_{\max} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{6}{4 \times 3.14} \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

Para el voltaje: $V = 0.95 V_{\max}$ (2-32)

Ahora la corriente eficaz que cada elemento rectificador (diodo) aporta es:

$$I_f = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{2 \times 6} + \frac{1}{4I} \frac{\sin 2 \times 180^\circ}{6}} \quad (2-33)$$

$$I_f = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4 \times 3.41} \sin 60^\circ}$$

$$I_f = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4 \times 3.41} \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

Para la corriente eficaz: $I_f = 0.38 I_{\max}$ (2-34)

Para el valor de la tensión eficaz que cada elemento rectificador (diodo) aporta es:

$$V_f = V_{\max} \sqrt{\frac{1}{2 \times 6} + \frac{1}{4 \times 11} \frac{\text{sen } 2 \times 180^\circ}{6}} \quad (2-35)$$

$$V_f = V_{\max} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4 \times 3.14} \text{sen } 60^\circ}$$

$$V_f = V_{\max} \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{4 \times 3.41} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}$$

Para la tensión eficaz: $V_f = 0.38 V_{\max}$ (2-36)

2.4.5. Estabilización y filtrado de rectificadores

El estabilizador es un equipo electrónico o electromecánico, destinado a dar una tensión estabilizada en su salida

2.4.5.1. Filtrado de rectificadores

La salida de los rectificadores no es propiamente continua y dista mucho de ser aceptablemente constante, lo que la inutilizaría para la mayoría de las aplicaciones electrónicas, por lo que se hace necesario el filtrado.

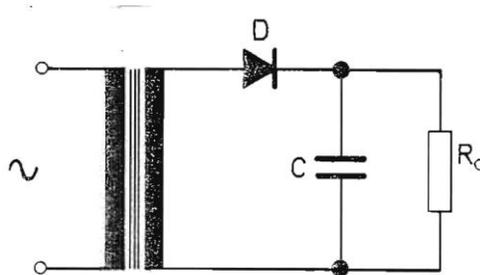
2.4.5.1.1. El condensador como filtro

Cuando un condensador es recorrido por la corriente, no es necesario que la tensión aplicada entre los bornes del mismo cambie de polaridad, es

suficiente que varíe periódicamente de valor. Esto es lo que sucede en todo equipo rectificador que proporciona una tensión continua de amplitud variable, la cual produce una serie de cargas y descargas del condensador sobre la resistencia de carga, y por lo tanto, un alisamiento de la amplitud de la componente continúa.

La construcción de un condensador de filtrado debe permitir soportar no solamente la tensión continúa, sino también la tensión de pico máxima proporcionada por el equipo rectificador.

Figura 58. **Esquema de un circuito de filtrado de un solo condensador**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 560.

El diodo D alimenta simultáneamente la carga R_c y el condensador de filtro C; en el semiperíodo siguiente la válvula queda bloqueada y el condensador se descarga parcialmente en R_c . Naturalmente, el tiempo de descarga del condensador dependerá del valor de la resistencia de carga.

La tensión en bornes del condensador después de t segundos viene dada por la fórmula:

$$- t/RC$$

$$U = Vx - e \quad (2-37)$$

Donde:

U = es la tensión entre las placas después de t segundos

V = la tensión inicial, e = 2.718 (base de logaritmos neperianos).

t = es la cantidad en segundos medidos desde que empezó la descarga.

RC = la constante de tiempo del circuito.

Después de un tiempo t_0 igual al valor de la constante de tiempo RC, la tensión en bornes del condensador será de:

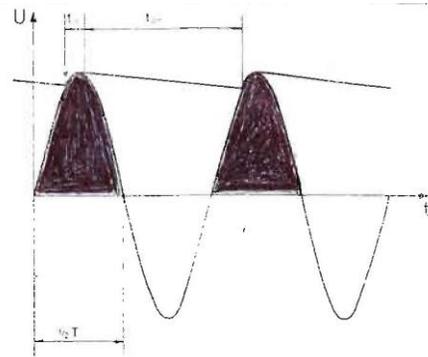
$$U = V / e = V / 2.718 \quad (2-38)$$

De donde se deduce que: $U = 0.368V = V \ 36.8/100$

Es decir que un 37% aproximadamente del valor de la tensión inicial.

Es conveniente que la tensión del condensador tenga tan sólo una variación muy débil antes de que el diodo conduzca de nuevo; es por ello, por lo que el valor de la constante RC debe ser elevada con relación al intervalo de tiempo que separa dos cargas consecutivas.

Figura 59. **Gráfico representativo del efecto de un filtrado por condensador**

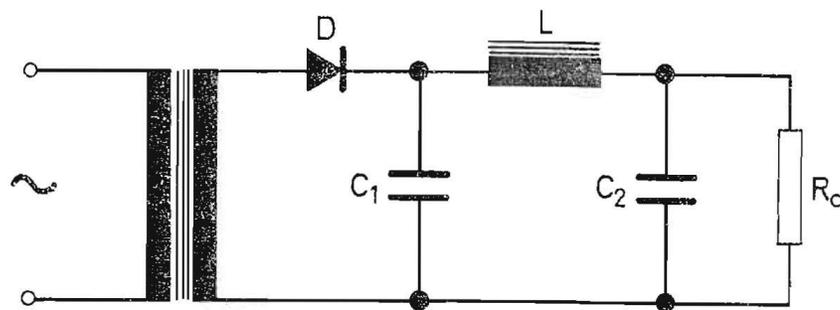


Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 561.

2.4.5.1.2. Filtro de corriente rectificada

Se llama filtro de corriente rectificada a todo dispositivo compuesto de inductancias y condensadores que, montados a la salida de un rectificador, reducen la ondulación de la corriente rectificada.

Figura 60. **Circuito de filtrado compuesto de una inductancia y dos condensadores**



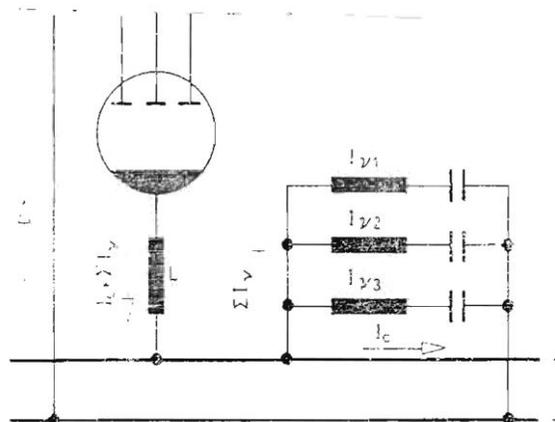
Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 563.

El condensador C1 es la capacidad conectada directamente entre los bornes del rectificador, L es la bobina de filtro con núcleo de hierro y C2 es el condensador que completa el filtrado de la corriente rectificada. La inductancia L actúa, junto con el condensador C2, como un divisor de tensión para la ondulación.

2.4.5.1.3. Filtrado de los Armónicos

Un juego de circuitos oscilantes conectados en derivación con las barras colectores de corriente continua, éstos circuitos oscilantes, compuestos por una bobina sin núcleo y un condensador en serie, están sintonizados con la frecuencia de aquellos armónicos de la corriente continua que se desea eliminar. Los armónicos, I1, I2 e I3 quedan cortocircuitados a la barra negativa, saliendo sólo una mínima fracción a la red exterior.

Figura 61. Esquema de un conjunto de filtros para la eliminación de los armónicos de la tensión rectificada



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 568.

La resistencia de la red es muy grande comparada con la resistencia de cortocircuito de los circuitos de filtrado, la corriente cedida al red es una corriente continua prácticamente sin armónicos y como consecuencia la tensión en bornes de la carga será también una tensión prácticamente constante.

Para el dimensionamiento de estos circuitos de filtrado hay que considerar los siguientes aspectos:

- Las frecuencias a las cuales deben sintonizarse los circuitos de filtrado vienen dadas por las frecuencias de los armónicos de la tensión continua.
- Con $1/n$ de la duración del período de la tensión alterna fundamental (siendo n el número de fases), se repite el curso de los armónicos, por lo que aun período de la tensión alterna corresponde n períodos de la tensión continua.
- La frecuencia fundamental de los armónicos de la tensión continua resulta, como consecuencia, igual a n veces la frecuencia de la tensión alterna primaria, es decir: $f_c = n f$.
- La tensión alterna (uv) superpuesta a la tensión continua no tiene forma senoidal, sino que contiene otros armónicos de orden superior.

Por lo tanto, descomponiendo la curva de la tensión continua en sus armónicos, siguiendo el procedimiento de fourier, el número de orden V_c de los armónicos de la tensión continua tomando como la tensión primaria fundamental, es:

$$V_c = m v \times n \quad (2-39)$$

En donde:

$m = 1, 2, 3, \dots$ (número de orden de los armónicos).

$n =$ número de fases.

Según esto, el aumentar el número de fases da importancia a la banda continúa de frecuencias de los armónicos de tensión e intensidad disminuye, es decir, mientras que un sistema trifásico la corriente continúa contiene armónicos de frecuencia iguales a 3, 6, 9, 12, ... veces la frecuencia primaria.

2.4.5.2. Estabilización

Cuando los generadores de corriente alterna en accionados por máquinas de vapor alternativas, uno de los problemas fundamentales de servicio era el de las oscilaciones. Las variaciones periódicas de velocidad. Las variaciones periódicas resultantes en la tensión y la frecuencia se trasmitían a los motores conectados al sistema.

2.4.5.2.1. Factores esenciales para la estabilización

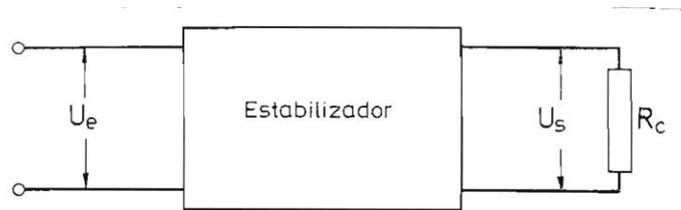
Normalmente en los dispositivos electrónicos y en una buena parte de los dispositivos eléctricos, se precisa que la tensión que se aplica entre los bornes de los mismos se mantenga dentro de unos límites determinados.

En electrónica, las variaciones de tensión suelen ser motivadas por una variación de la potencia consumida por el aparato, aunque hay también que

tener en cuenta que, dadas la elevadas resistencias ohmicas de las redes, toda variación de intensidad provoca una apreciable variación de la caída de tensión.

Cuando por cualquier motivo se hace indispensable la necesidad de utilizar una tensión invariable, se recurre a una serie de dispositivos que estabilizan automáticamente la tensión que se les aplica.

Figura 62. **Esquema bloque de conexión de un estabilizador de tensión**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 571.

Este es un ejemplo de esquema simplificado de la conexión de un estabilizador de tensión entre la red y el aparato consumidor. Dadas las causas que pueden motivar una variación de la tensión de alimentación, la estabilización puede efectuarse sobre dos casos diferentes:

- La tensión de entrada U_e varía de manera accidental, como puede suceder por una variación de la tensión de la red.
- La corriente que circula por la carga varía como consecuencia de una variación del valor de la resistencia de carga.

Para ambos casos, la tensión U_s aplicada a los bornes de la resistencia de carga permanezca lo más estable posible. Eso depende, de las buenas

cualidades del equipo estabilizador, la cuales están determinadas por los siguientes factores:

- factor de estabilización
- coeficiente de regulación de intensidad

El factor de estabilización o coeficiente de estabilización de tensión, viene determinado por:

$$S = \frac{\Delta U_s}{\Delta U_e} \quad (2-40)$$

Entonces, se dice que el mejor estabilizador, es aquel, que tiene éste factor más pequeño.

Ejemplo:

Si la tensión de entrada varía en un instante 220 y 225 voltios y la tensión de salida lo hace a 220 y 220.1 voltios.

El factor de estabilización es:

$$S = \frac{\Delta U_s}{\Delta U_e} = \frac{220.1 - 220}{225 - 220} = \frac{0.1}{5}$$

Entonces, el factor de estabilización es: $S = 0.02$

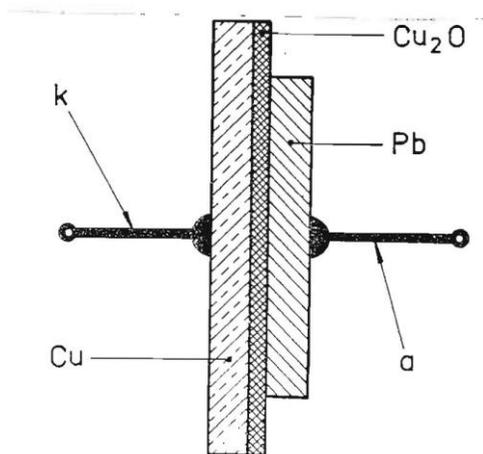
2.4.6. Rectificadores con diodos

La función principal de un diodo rectificador es eliminar la fase negativa de la corriente alterna ya que no conduce esta polarización.

2.4.6.1. Rectificador de óxido de cobre

Este tipo de diodo rectificador está formado por un cátodo de cobre y un ánodo de óxido cuproso sobre el cual hace contacto una lámina de plomo o zinc. El óxido cuproso, de unos 2 mm. de espesor, se forma calentando el cobre a unos 1000 °C y se procede a un enfriamiento rápido. Debido que en la parte superficial del óxido de cobre existe un exceso de oxígeno, el semiconductor obtenido, poseerá exceso de cargas positivas, es decir, la combinación oxígeno – óxido cuproso proporciona un semiconductor tipo P.

Figura 63. Esquema constructivo de un diodo rectificador de óxido de cobre



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 571.

La misión de la lámina de plomo en contacto con el óxido cuproso, es la de asegurar un buen contacto para distribuir uniformemente la corriente que se le aplique.

Por la tanto, ya que el óxido cuproso es un semiconductor tipo P, el sentido de la corriente electrónica será del cobre hacia el óxido.

La resistencia directa de estos diodos rectificadores es de unos 10Ω / cm. y la resistencia inversa de unos $50\text{ k}\Omega/\text{cm}$. En la actualidad estos diodos de óxido de cobre no son muy utilizados, ya que presentan éstas grandes desventajas, éstas son:

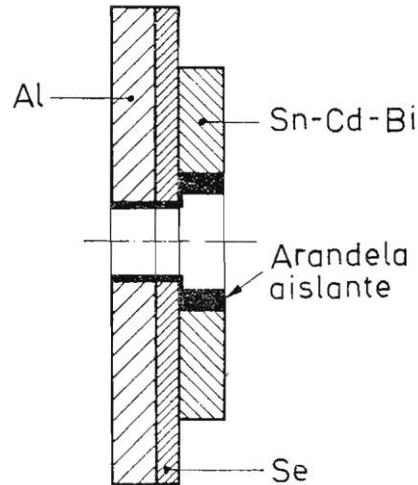
- La temperatura máxima que pueden soportar es de unos 40 o $50\text{ }^\circ\text{C}$, sobrepasados los diodos pueden quedar deteriorados.
- La máxima tensión inversa que soportan es de 8 voltios, la cual hace preciso la colocación de varias unidades en serie para rectificar tensiones superiores y por la tanto, ello trae consigo un aumento de volumen del equipo rectificador.
- No se les puede hacer trabajar a intensidades de corriente superior a $80\text{ mA}/\text{cm}^2$, valor muy pequeño para las necesidades industriales. La colocación de unidades rectificadoras en paralelo para lograr rectificaciones de corriente superiores, trae un aumento de volumen.

2.4.6.2. Rectificador de selenio

Este tipo de rectificador actualmente es más utilizado que el rectificador de óxido de cobre. Está formado por una lámina de aluminio o acero que sirve de soporte, en una de cuyas caras se deposita por vaporización, en hornos de

vacío, una delgada capa de selenio. Esta capa de selenio se cubre a su vez por una aleación de estaño, cadmio y bismuto que forma el contra electrodo.

Figura 64. **Esquema constructivo de un diodo rectificador de selenio**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 616.

El selenio intrínseco depositado, mediante un proceso de fabricación se transforma en extrínseco del tipo P, es decir portador de cargas positivas, lo cual hace que se forme una capa barrera entre el semiconductor y el contra electrodo. El ánodo es la capa de selenio y el cátodo la capa de la aleación estaño-cadmio-bismuto, por lo que el sentido de la corriente eléctrica será de selenio a contra electrodo.

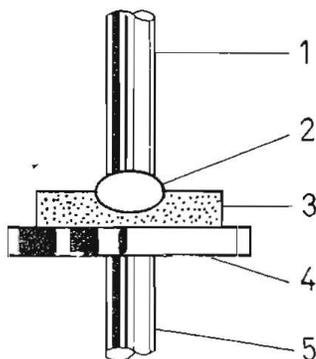
La densidad de corriente admitida actualmente en un rectificador de selenio es de 0.3 A/cm^2 , lo cual supone una mayor dimensión de superficie que en los rectificadores de silicio a igualdad de potencia. La máxima tensión inversa que pueden soportar estos diodos rectificadores es del orden de 25 a 30 voltios por elemento, siendo su resistencia en sentido inverso de unos $100 \text{ k}\Omega / \text{cm}$ y en sentido directo de $4 \text{ }\Omega / \text{cm}$.

2.4.6.3. Rectificador de silicio

El rectificador de silicio pertenece también al grupo de los semiconductores, está formado por una tableta mono cristalina de silicio de unos 0.3 mm. de espesor y de diámetro variable según la intensidad que ha de circular a través de ellos. En una de las caras de la tableta se introduce átomos de impurezas trivalentes, tales como el boro o el aluminio, formándose así un dopaje P; en la otra cara se introducen átomos de impurezas pentavalentes (antimonio o fósforo), con lo cual se consigue un dopaje N.

Al aplicar una tensión positiva al lado P y una negativa al N, el cristal se invade por portadores de carga, de forma que se hace buen conductor. Si, por el contrario, se aplica una tensión negativa al lado P y una positiva al N, los portadores de carga son absorbidos del cristal y el cristal se hace aislante.

Figura 65. Unión por aleación



— Unión por aleación: 1—terminal de ánodo, 2—cristal de silicio tipo P, 3—cristal de silicio tipo N, 4—soporte, 5—terminal de cátodo.

Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 624.

En lo que respecta, el detalle constructivo de la unión, el diodo de silicio por aleación. En este tipo de unión, hace al diodo más adecuado para la rectificación de intensidades de mayor valor. Se obtiene calentando en un horno adecuado un cristal de silicio tipo N sobre de silicio tipo P se coloca en el centro de las caras del cristal N y se calienta en el horno a una temperatura que oscila entre 600 y 650 °C, dando lugar así a la unión PN.

2.4.7. Sistemas de refrigeración y protección de rectificadores

Siendo la protección de los equipos importante se dan a conocer a continuación algunas particularidades para la efectiva aplicación en los mismos.

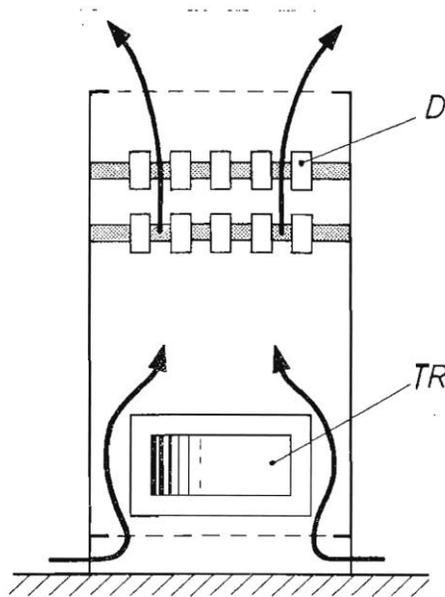
2.4.7.1. Refrigeración de diodos de silicio mediante circulación natural de aire

En los diodos de silicio, existe la limitante que la capacidad del rectificador depende de la temperatura máxima admisible en la unión de los cristales que forman el diodo. Esta temperatura máxima del cuerpo, que como ya se ha dicho no debe ser sobrepasada, está fijada en 100°C, aunque en régimen se aconseja una temperatura del cuerpo del diodo de unos 65°C a 75°C recomendada, tiene por fin el de dejar un margen para absorber las posibles sobrecargas que se produzcan en el circuito. El valor de la elevación de temperatura depende de las pérdidas y de la facilidad con que éstas son disipadas.

Para este caso en general, el aire circula por convección, es decir, el aire caliente asciende hacia las capas superiores mientras que su lugar es ocupado por aire a menor temperatura. El proceso se repite indefinidamente y de esta forma, el calor producido por las pérdidas en los rectificadores se va

evacuando. En general los grupos rectificadores se instalan dentro de cajas o armarios especialmente diseñados para los mismos, que poseen una serie de entradas y salidas de aire.

Figura 66. **Disposición de diodos y del transformador en el interior de un armario**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 643.

2.4.7.2. Refrigeración por conducción forzada de aire

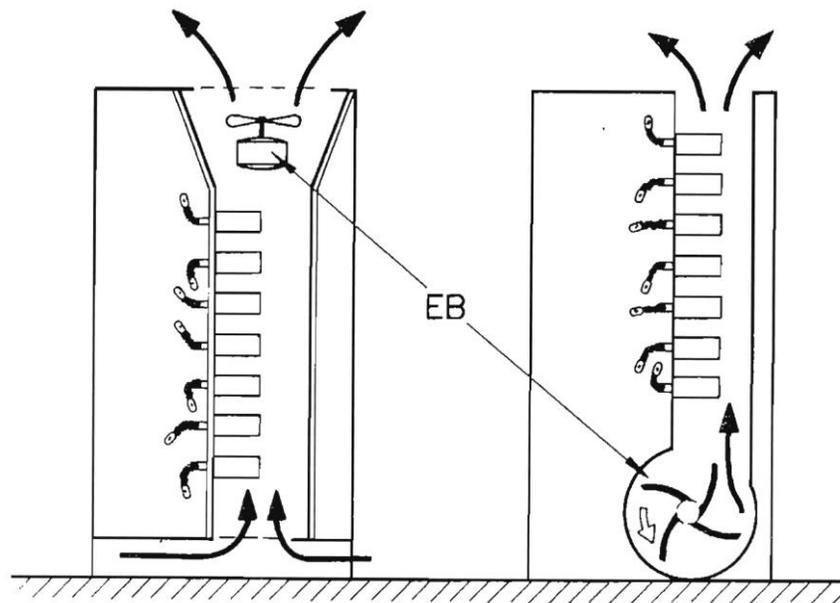
Cuando se necesita una mejor refrigeración de los grupos rectificadores, ya sea como consecuencia de un aumento de la potencia instalada y no se desea cambiar el equipo rectificador o bien cuando por razones económicas o de espacio interesa la instalación de rectificadores de menor tamaño para grandes potencias, es preciso la instalación de un ventilador para aumentar la

velocidad del aire refrigerante y conseguir, de esta forma, una refrigeración más eficaz de los grupos rectificadores.

En este tipo de refrigeración por aire forzado, hay que tener muy en cuenta que un fallo en el sistema de refrigeración puede provocar un calentamiento excesivo de los grupos rectificadores, por lo que deben protegerse contra los posibles fallos del equipo ventilador.

La protección contra fallos del sistema de refrigeración debe consistir en un dispositivo sensible a la corriente de aire y a su intensidad.

Figura 67. **Equipos rectificadores montados en armarios con refrigeración forzada de aire**



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 646.

2.4.7.3. Refrigeración por líquido

Otro tipo de refrigeración para los diodos semiconductores de silicio, es la refrigeración por circulación de agua o aceite. La circulación de agua para la refrigeración se efectúa por el interior de tubos sobre los cuales se montan los semiconductores. Todos los tubos empleados son de aluminio, con o sin aletas interiores. La circulación del líquido es del tipo paralelo, con un colector a cada extremidad de los tubos.

2.4.7.4. Protección de diodos por medio de fusibles

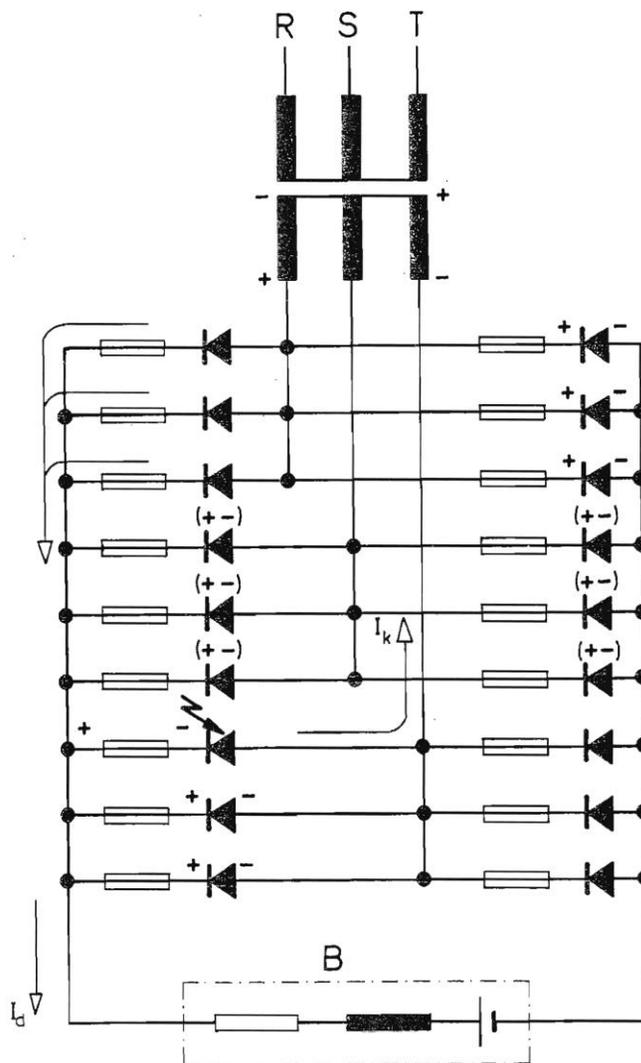
Los fusibles se utilizan corrientemente para la protección de diodos de silicio. Pueden definirse dos tipos de utilización:

- Los fusibles que se encargan únicamente de poner fuera de servicio, de una manera selectiva, el diodo en el que se ha producido un cortocircuito interno, lo cual es lo más corriente en el caso de rectificadores de elevada potencia compuestos de un gran número de diodos.
- Protección de los diodos contra los efectos de los cortocircuitos externos que se presentan en el lado de la corriente continua. Esta última condición es corrientemente exigida en el caso de rectificadores de baja frecuencia.

En este caso hay tres diodos en paralelo por brazo. Cuando un diodo pierde su propiedad valvular, dos fases del transformador quedan en cortocircuito; el brazo del rectificador por el que pasa la corriente en este instante alimenta el cortocircuito interno. La corriente de cortocircuito aumenta bruscamente en el diodo defectuoso y se reparte entre los tres diodos en paralelo del brazo que permanece fijo (fase R). La energía necesaria para

provocar la fusión del fusible determina el número de diodos a poner en paralelo, a fin de que en el caso de avería en uno de ellos, los que quedan en buen estado no se encuentren excesivamente sobrecargados. El diodo defectuoso es puesto selectivamente fuera de servicio del equipo rectificador

Figura 68. **Protección por medio de fusibles**

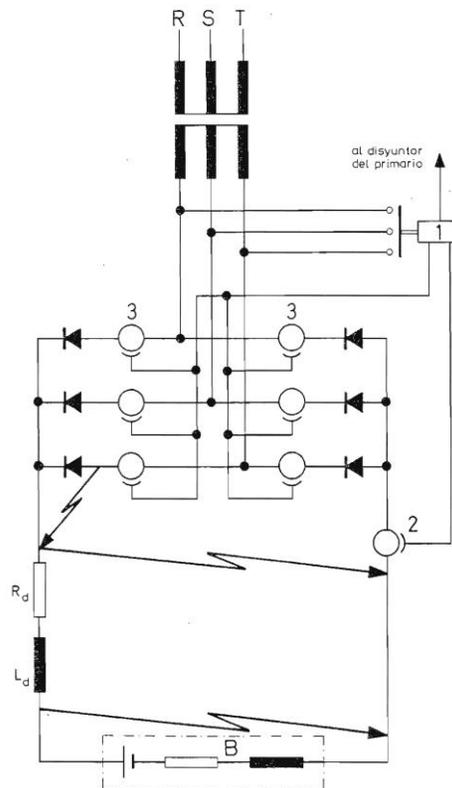


Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 662.

2.4.7.5. Protección por corta circuitador

Ya se mencionó que la capacidad de sobrecarga de un diodo de silicio es bastante baja. Entonces ocurre que, a menudo, es imposible utilizar un disyuntor de corriente continúa sin órgano suplementario, tal como una bobina de limitación de corriente, pues su tiempo de apertura es demasiado largo. Esta es también la razón por la cual es necesario recurrir, en muchas ocasiones, al empleo de un determinado elemento corta circuitador que funcione mucho más rápidamente.

Figura 69. Esquema de un rectificador con corta circuitador



Fuente: RAMÍREZ VÁZQUEZ, José. Enciclopedia Ceac de Electricidad. p. 670.

La orden de desconexión es dada al corta circuitador (1) por medio de un transformador de impulso (2) cuando la corriente o su velocidad de crecimiento sobre pasan un determinado valor en el circuito de corriente continúa, o por medio de un transformador de impulsos (3) cuando la anomalía se produce en los brazos del rectificador, es decir, cuando se produce corto circuito interno.

En algunos casos la protección está basada en la medida de la corriente, en otros casos en la medida de la derivada de la corriente con respecto al tiempo (di/dt). En este segundo método de protección, es aplicado cuando se desea limitar la intervención del corta circuitador a los casos de corto circuitos aparecidos en los bornes del rectificador; la protección contra corto circuito aparecidos en otras partes del circuito de corriente continúa o contra las sobrecargas, es entonces asegurada por medio de un disyuntor. El corta circuitador, corto circuita las tres fases del secundario (lado alterna) 2 o 3 mseg. después de la aparición de un defecto. El aumento de corriente durante este tiempo esta determinado por los valores instantáneos de las tensiones del transformador, por las inductancias de las conexiones que van hasta los ánodos y por la inductancia del circuito, en el lado de continúa.

Cuando un corta circuitador se cierra, la corriente de cortocircuito disminuye en un tiempo que depende de la constante de tiempo del circuito comprendido entre el corta circuitador y el lugar del corto circuito.

2.5. Instalación eléctrica de área de celdas para electrólisis

La electrólisis de una solución acuosa de cloruro de sodio da como resultado una variedad de productos que dependen del diseño de la celda y de las condiciones de operación.

2.5.1. Conceptos generales

A continuación las definiciones que permitirán tener un cepto claro correspondiente al área de celdas para electrolisis.

2.5.1.1. Definición de electrolisis

De tal forma, los productos anódicos y catódicos no reaccionan para formar otros compuestos, la sosa cáustica (NaOH) y el cloro son los productos principales (aunque debe mencionarse que se produce hidrógeno en la reacción).

Si los productos reaccionan en una celda fría, se produce hipoclorito de sodio (polvo blanqueador, NaOCl), mientras que si reaccionan en una celda caliente se produce clorato de sodio (NaClO₃). Si el electrolito es cloruro de potasio en lugar de hidróxido de sodio, se produce una potasa cáustica (KOH). La separación del producto anódico (cloro) del producto catódico se efectúa por medio de una celda de membrana para impedir la formulación de hidróxido de sodio en la celda electroquímica, existe la separación de la membrana para mantener separados el anólito y católito.

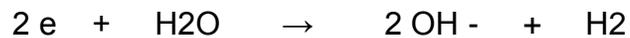
El cloro y la sosa cáustica son los dos productos de mayor tonelaje que se fabrican por proceso electrolítico. Se traducen en forma simultánea a una relación de 1.13 kg de hidróxido de sodio por 1 kg de cloro. También se produce cloro como subproducto en la electrólisis del cloruro de sodio fundido para formar sodio y por electrólisis de ácido clorhídrico.

En la celda de membrana, se alimenta salmuera de cloruro de sodio casi saturada a una temperatura de 60 a 70 ° C en el comportamiento del anólito y el

flujo en forma continua por la membrana al compartimiento del católito, para la cual se mantiene el flujo por medio de una diferencia en carga hidrostática. La relación del cátodo es:



La relación del ánodo es:



238

Sólo se efectúa la electrólisis en una porción del cloruro alcalino que entra a la celda y la porción que no experimenta reacción sale con la solución de hidróxido del compartimiento del cátodo. El cloro que se produce se desprende en el cátodo, mientras la solución de NaOH se hace pasar a concentradores, en donde se le concentra por evaporación.

Mientras que para la producción de cáustico y cloro por electrólisis del cloruro de sodio se mantienen separados los productos anódico y catódico, el requisito inverso es el llenado para la producción hipoclorito por electrólisis del cloruro de sodio. El hipoclorito de sodio es el resultado de la reacción del cloro sobre la sosa cáustica. Para obtener el hipoclorito en la celda, los electrodos se colocan juntos y el electrolito se mantiene en movimiento constante para mezclar los productos anódico y catódico.

2.5.1.2. Características

Dentro de las principales características se detallan las siguientes:

2.5.1.2.1. Información de membranas para electrólisis

Las membranas están hechas de polímeros de intercambio de iones. El polímero perfluorinado brinda estabilidad química y termal similar a la resina floro polímera. Adjunto a las cadenas de polímero hay sitios de intercambio de cationes perfluorinados. El polímero, es por tanto permeable a varios cationes y compuestos polares, su tamaño y propiedades eléctricas determinan su movilidad a través del polímero.

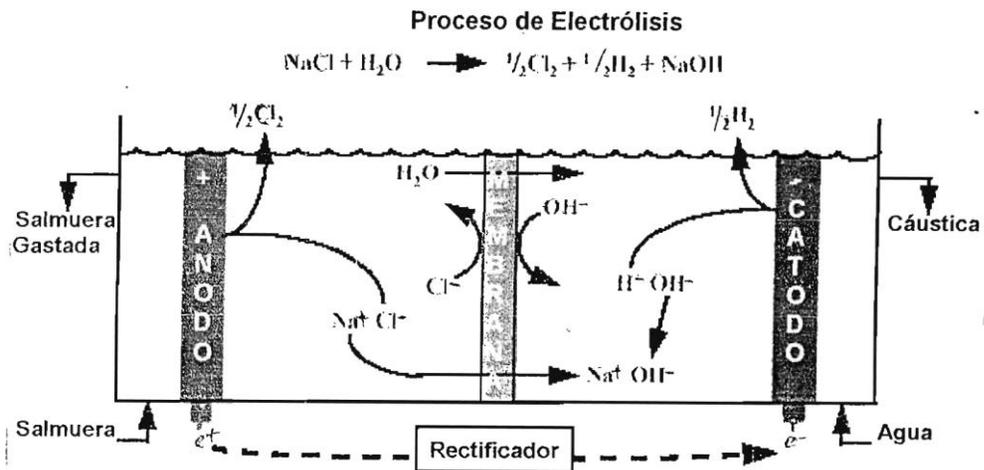
Las membranas son películas delgadas de polímero que son usualmente reforzadas con una tela hecha de teflón. En un típico proceso de membrana, un fluido que contenga uno o más componentes está en contacto con un lado de la membrana.

La principal aplicación de membranas es la producción de cloro y soda cáustica por electrólisis. Es una membrana perfluorinada comercial de intercambio de iones, tiene refuerzos compuestos, teniendo capas sulfonadas y de polímero carboxilato.

Este tipo de membrana tiene las características siguientes:

- Alta eficiencia de corriente
- Baja resistencia eléctrica
- Resistencia química al cloro
- Resistencia al calor
- Estabilidad dimensional
- Baja permeabilidad a la sal y al agua
- Larga vida

Figura 70. Membrana para proceso de electrólisis



Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

Las membranas formadas de:

- Intercambiador de iones polimérico perfluorado.
- Dos capas reforzadas:
 - Capa carboxílica del lado catódico (más delgada).
 - Capa sulfónica del lado anódico (más gruesa).
- Permeable a la mayoría de los cationes (iones positivos), pero impermeable a los aniones (iones negativos) y compuestos no polares.
- Por cada 100 moléculas de NaCl que entran en la salmuera de alimentación, pasan por la membrana.

- 50 iones sodio (Na)
- 21 moléculas de agua (H₂O)
- 5 moléculas de sílice (SiO₂)
- 0.042 aniones sulfato (SO₄)
- 0.0031 aniones cloruro (Cl)

2.5.1.2.2. Vida de las membranas

En general, la vida de las membranas se ve afectada por:

- Impurezas en el agua y la salmuera de alimentación: hay que obtener una mejor calidad de salmuera (hay que usar bajo especificaciones).
- Diseño de los electrolizadores de la planta: ΔP variable entre compartimientos anódico y catódico (debe siempre mantenerse H₂ > Cl₂, es decir, catódico mayor al anódico). Hay que tener un estricto control de ΔP .
- Diseño de las membranas propiamente dicho: Fuerza/debilidad de la red polimérica, se logró la incorporación del tejido reenforzante, pudiendo disminuir el transporte de SiO₂, SO₄ e IO₄.
- Disminuyendo los parámetros operacionales en el rango permitido e incluso, dentro de los rangos preferibles.

En general, la vida o duración de las membranas incide directamente en el costo de producción del cloro, la sosa y el hidrógeno generados en la planta.

2.5.1.2.3. Efecto de la vida de membranas x producción

	Experiencia real 3.0 kv/m ²	Proyección basada en la experiencia 4.0 kv/m ²
Vida de las membranas 4 años	3 años y 3 meses
Área de las membranas/m ² 2200	1700
Costo de las membranas \$ 850/m ²	\$ 850/m ²
Costo de las membranas por TM de NaOH producida \$ 6.49	\$ 6.18

2.5.1.3. Reacciones químicas

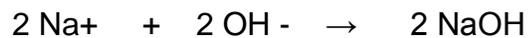
La electroquímica estudia los cambios químicos que producen una corriente eléctrica y la generación de electricidad mediante reacciones químicas.

2.5.1.3.1. Celda de electrólisis

- Reacción en el ánodo:



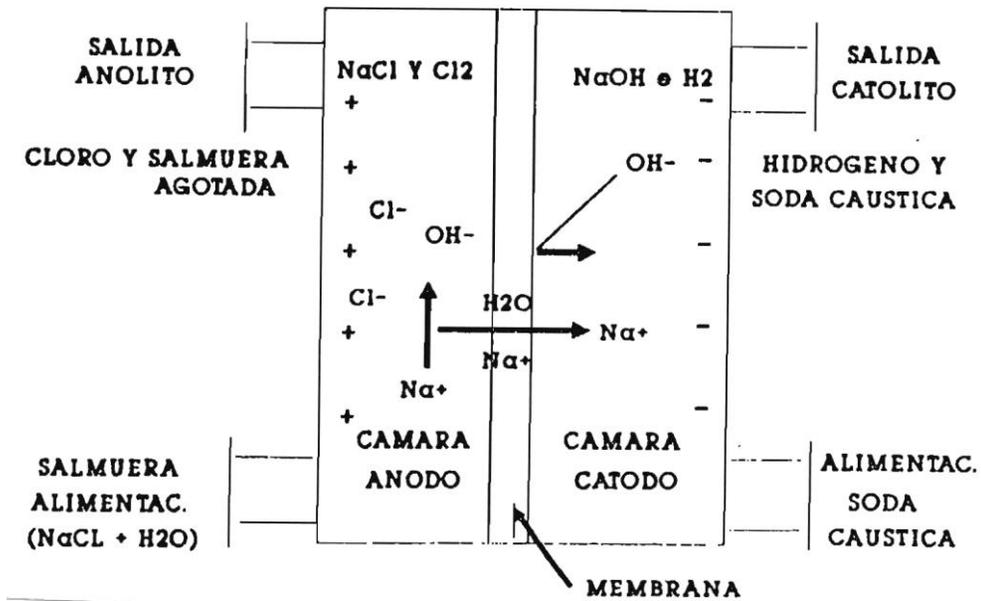
- Reacción en el cátodo:



- Reacción de electrólisis global:

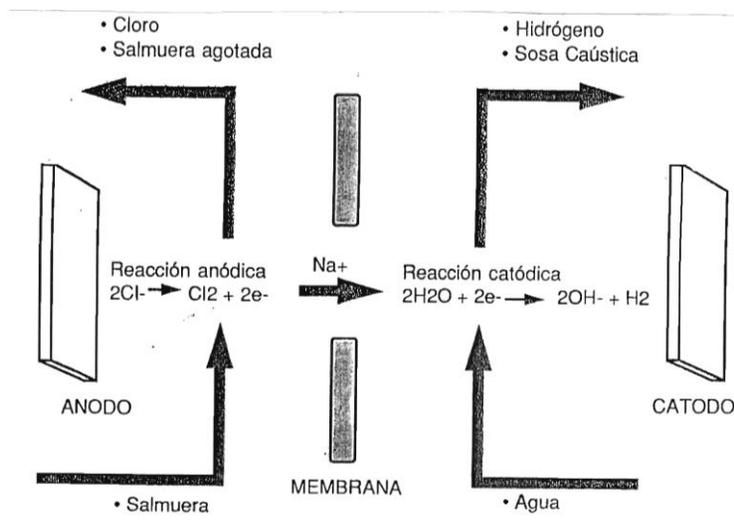


Figura 71. Celda tipo membrana



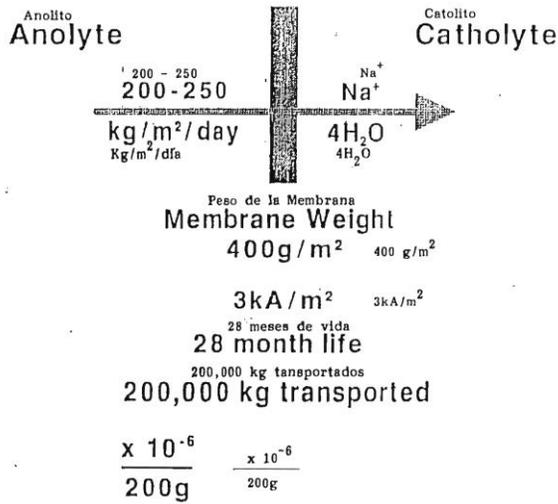
Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

Figura 72. Electrolizador de membrana



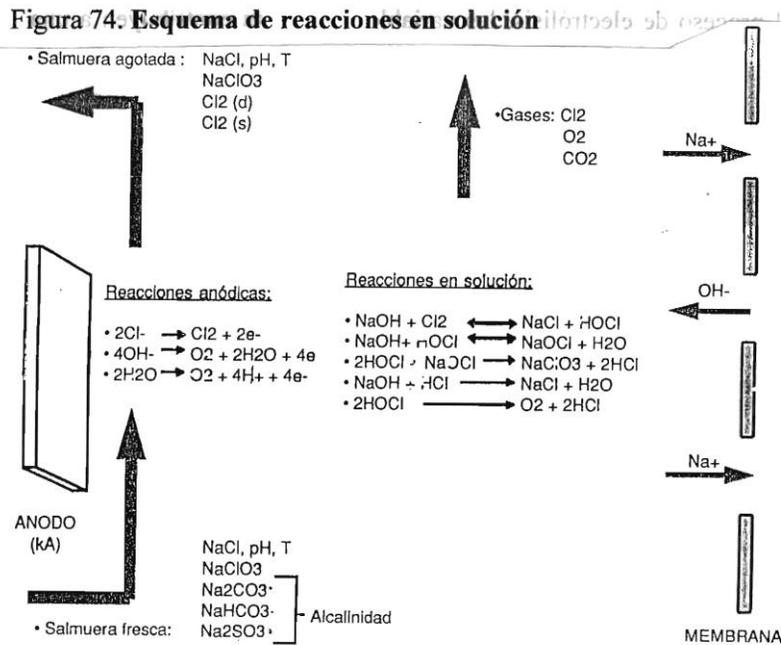
Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

Figura 73: Comportamiento de la materia en la membrana



Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

Figura 74. Esquema de reacciones en solución



Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

2.5.1.4. Definiciones eléctricas

En el proceso de electrólisis, las variables eléctricas contribuyen a una mejor comprensión y explicación del porque suceden ciertos efectos eléctricos, éstos son la razón teórica de lo que sucede en la práctica.

2.5.1.4.1. Ley de Faraday

La ley de Faraday establece que:

- La cantidad de producto que produce la electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa.
- La cantidad de sustancias químicas que se produce por una cantidad determinada de electricidad es proporcional a sus pesos equivalentes.

Se define el peso equivalente, así:

$$E = A / z \quad (2-41)$$

Donde:

E = peso equivalente

A = peso atómico de un elemento

z = cambio de valencia

Por lo tanto, las dos leyes de Faraday se pueden resumir de la siguiente forma:

$$M = i E t / F \quad (2-42)$$

Donde:

M = peso de la sustancia que reacciona (gramos)

i = corriente en amperios

t = es el tiempo en segundos

F = el Faraday

Nota: El Faraday, se define como la cantidad de electricidad que se requiere para producir 1 g equivalente (es decir, el peso equivalente en gramos) de producto.

Las dimensiones de F es: A x s / g equivalente.

Por experimentación, F se define: 96.50 c/g (coulomb/gramo).

Un coulomb se define: el peso de 1 amperio durante 1 segundo.

También 3600 C (coulomb) = 1 Ah (amperios-hora).

2.5.1.4.2. El coulómetro

Es el aparato que se utiliza para determinar la cantidad de electricidad que pasa por una celda, particularmente cuando hay corrientes fluctuantes. El coulómetro más exacto es el de plata, éste determina la cantidad de plata depositada partiendo de una solución de nitrato de plata y de allí se calcula la cantidad de electricidad it (i, en amperios y t, en segundos).

2.5.1.4.3. Equivalentes electroquímicos

El equivalente electroquímico (e) de un elemento, es el peso de elemento que deposita un coulomb de electricidad.

Se define así:

$$e = E / F \quad (2-43)$$

Las unidades de los equivalentes electroquímicos dependen de las unidades de corriente, tiempo y del Faraday. Si se puede conocer el voltaje de reacción de la celda, también se puede calcular los valores del consumo de energía, ya que:

$$\text{Ampere – hora} \times \text{volt} = \text{watt horas} \quad (2-44)$$

2.5.1.4.4. Eficiencia de corriente

Generalmente, es común encontrar en una celda que la cantidad de cambio químico que tiene lugar es menor que la calculada por medio de los equivalentes electroquímicos.

De esto se puede decir, que no es producto de falla de la aplicación de las leyes de Faraday, sino que representa el hecho de no tomar en cuenta todas las reacciones, es importante considerar las reacciones laterales. La eficiencia de corriente se define así:

$$\text{Eficiencia de corriente} = \frac{\text{cantidad de cambio químico deseado}}{\text{cantidad teórica de la ley de Faraday}} \times 100 \% \quad (2-45)$$

2.5.1.4.5. Densidad de corriente

La corriente total que se obtiene de o se aplica a una celda electroquímica depende del área de aplicación, por lo tanto, la densidad de corriente se utiliza para normalizar el área de corriente de aplicación, entonces, la densidad de corriente es la corriente dividida entre el área geométrica de aplicación.

En su mayoría, las reacciones químicas muestran un intervalo de densidad de corriente sobre el cual habrá de ocurrir una reacción electroquímica y ésta depende de la naturaleza de la reacción y de las condiciones físicas tales como la temperatura y la agitación.

2.5.1.4.6. Distribución de la corriente

Normalmente, las leyes de Faraday sólo permiten el cálculo de las reacciones electroquímicas totales. En muchas celdas en la práctica, es frecuente que la reacción se impida o se acelere en el área de aplicación, por geometría desiguales de ánodos y cátodos, el agotamiento de los reactivos en la superficie de aplicación debido a un efecto de agitación insuficiente o por resistencias fortuitas en el circuito eléctrico.

Es importante considerar al diseñar una celda electroquímica, de hacer mínimos los efectos de la distribución desigual de la corriente y de asegurar momentos de reacción uniformes a lo largo de toda el área de aplicación.

Es por todo ello, que la gran mayoría de las celdas electroquímicas en la práctica tienen distribución de corriente desigual.

2.5.1.4.7. Celdas electroquímicas

Una celda electroquímica es un método que sirve para llevar a cabo reacciones químicas y una reacción que se hace de esta manera es acompañada por el mismo cambio de energía que cuando ocurre por otro medio. Para una reacción de celda, la cantidad de electricidad que se requiere es zF coulomb.

Donde:

F es el Faraday y

z es el número de electrones que se requiere en la reacción.

Esto es para la completa estequiometría, de la reacción, esto significa que la estequiometría de una reacción electroquímica se obtiene al multiplicar cada componente de cualquiera de las reacciones anódica o catódica por el entero más pequeño para asegurarse que la ecuación tenga el mismo número de electrones.

El trabajo eléctrico de ésta celda es:

$$zFE \text{ (joules)} \quad (2-46)$$

Donde:

E = la diferencia de potencial de la celda.

El trabajo efectuado en el sistema a presión constante es ΔG (esto es el incremento de energía libre del sistema).

Por ello, para una celda a temperatura y presión constante,

$$\Delta G = -zFE \quad (2-47)$$

253

Por termodinámica:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (2-48)$$

Donde:

ΔH = es el cambio de contenido de calor (entalpía) del sistema a presión y temperatura constante.

ΔS = cambio de entropía.

De aquí, la expresión es:

$$\Delta S = \left[- \frac{\delta (\Delta G)}{\delta T} \right]_p \quad (2-49)$$

Donde:

El subíndice p, denota condiciones de presión constante.

Para finalizar se define lo siguiente:

- La diferencia de potencial de la celda está relacionada con el cambio de Energía libre del sistema.
- El cambio de entropía en una reacción química puede calcularse a partir de la dependencia de la temperatura de la diferencia de potencial de la celda.
- Los cambios de contenido de calor en las reacciones químicas pueden Medirse en las celdas.

2.5.1.4.8. Coeficiente de temperatura de las reacciones de la celda

Si se considera un valor negativo de ΔH significa que el contenido calorífico del producto es menor que los reactivos, esto indica que hay un desprendimiento de calor durante una reacción exotérmica y de igual forma, hay una absorción de calor durante una reacción endotérmica.

ΔH se calcula a partir de la fuerza electromotriz (FEM) de la celda y el coeficiente de temperatura de la FEM de la celda.

Los valores típicos de:

$$[\delta E / \delta T]_p \text{ son: } -3.5 \times 10^{-5} \text{ V / } ^\circ\text{C} \quad (2-50)$$

La diferencia entre ΔG y ΔH es:

$$TzF [\delta E / \delta T]_p \quad (251)$$

Para ello, a 25°C (298°K) es: $-3.5 \times 298 \times 2 \times 96500 \times 10^{-5} \text{ J o } 5 \text{ Kcal.}$

2.5.2. Electrolizadores

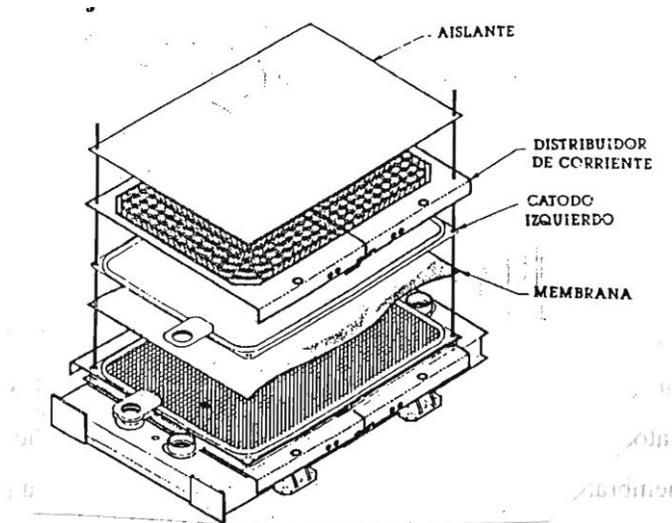
A continuación se enuncian las definiciones de los electrolizadores.

2.5.2.1. Definiciones

- Electrolizadores. En una planta de cloro, soda cáustica, se le llama electrolizadores al conjunto de celdas electrolíticas usadas.
- Voltaje en el electrolizador. El valor de voltaje medido a través del electrolizador desde el polo positivo (+) hasta el correspondiente polo negativo (-) en el distribuidor. Este voltaje es un promedio de todos los voltajes de las celdas en el electrolizador e incluye los voltajes debidos a la resistividad de los materiales que componen las celdas como las conexiones de cobre.
- Voltaje en la celda. Es el valor de voltaje entre la estructura del ánodo y el cátodo correspondiente. El voltaje incluye:
 - El voltaje de reacción.
 - La porción debido a la estructura.
 - La porción debido a la membrana.
 - La porción debido al electrolito.
 - Excedente de voltaje anódico.
 - Excedente de voltaje catódico.
- Eficiencia de corriente. Está definida como el cociente entre la cantidad de producto efectivamente producida y la cantidad teóricamente producida, teniendo en cuenta la cantidad de corriente eléctrica que entra.
 - Eficiencia de corriente cáustica.
 - Eficiencia de corriente del cloro.

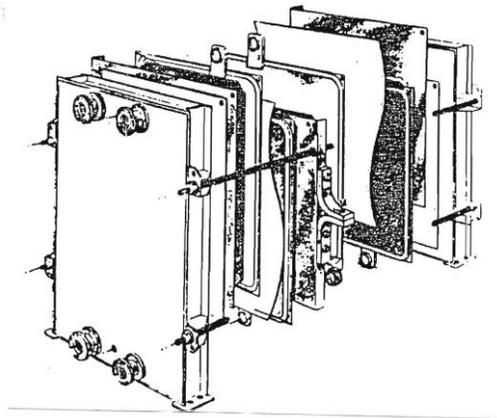
- Consumo de energía. Es la cantidad de kilowatts hora necesario para producir una tonelada de hidróxido de sodio. Este valor se calcula a partir del promedio de todos los voltajes de los electrolizadores.

Figura 75. **Dibujo de un electrolizador**



Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

Figura 76. **Forma y posición de un electrolizador**



Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

2.5.2.2. Tipos de electrolizadores

En una planta cloro soda, el área de celdas, está formada por un conjunto de electrolizadores, éstos poseen características muy propias que dependen del fabricante. Los electrolizadores están formados por celdas, éstas por ánodos y cátodos, separados por un diafragma, que para el caso de la planta será una membrana; las celdas, dependiendo de la capacidad de la planta en producir cloro sosa, así varía el tipo, forma, tamaño, etc. y del diseño.

2.5.2.2.1. Configuración monopolar de electrolizadores

El arreglo en serie de celdas de electrolizadores monopolares (celdas en línea) están interconectadas eléctricamente a través de conductores flexibles hechos de cobre o aluminio. La energía suministrada en corriente directa al grupo de electrolizadores, individualmente se enlazan por medio de una barra de cobre en el sistema. La corriente directa es suministrada por el transformador rectificador.

La celda convencional de membrana monopolar está compuesta de tres partes:

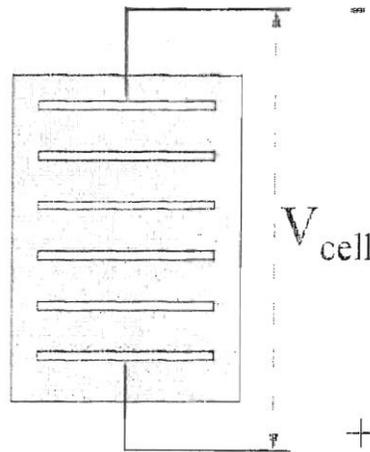
- El ensamblaje de la base o ánodo.
- El ensamblaje del cátodo.
- El ensamblaje de la tapa de la celda.

La salmuera entra a la celda, el gas cloro y el gas hidrógeno sale a través de mangueras o tubos.

- El ensamblaje del ánodo.
- El ensamblaje del cátodo.
- El ensamblaje de la membrana.

La característica de energía eléctrica es considerada entre 5 a 42.5 ka de corriente en DC, a un voltaje de 5 a 121 VDC.

Figura 78. **Electrolizadores conectados en forma bipolar**



Fuente: Información técnica. Boletín de Dupon, Nafion

2.5.2.3. Características de las celdas

Dentro de las fuentes de contaminaciones de las membranas de las celdas, generalmente se pueden mencionar:

- Sales.
- Agua.
- Cáustico.

- Tubería y equipo de procesamiento.
- Hardware.
- Materia prima y agentes químicos.

2.5.3. Área de celdas

En una planta cloro soda, el área de celdas representa el núcleo de funcionamiento.

Se le llama área de celdas al lugar definido de una planta cloro soda, donde se desarrolla el proceso de electrólisis y que a través del montaje del transformador rectificador, conexión eléctrica de barras de aluminio e instalación de gabinetes de control, es llevada la energía eléctrica a los electrolizadores, es aquí donde ocurre la separación molecular del cloruro de sodio (sal).

2.5.3.1. Instalación de equipos auxiliares

En el área de celdas, hay equipos que forman parte del óptimo funcionamiento del proceso.

2.5.3.1.1. Desconectores con carga (*switchgear*)

Este equipo es utilizado para conectar/desconectar la línea de 11 kv, de la línea principal de alimentación eléctrica hacia el transformador rectificador.

Los desconectores se instalan generalmente en el interior de gabinetes o celdas. Su operación se lleva a cabo desde el exterior, mediante

mecanismos operadores de tipo disco. En el caso de utilizarse en sistemas automatizados o ubicados a gran distancia, se tienen accionamientos motorizados mediante los cuales puede efectuarse la operación de desconectores a distancia y sin intervención directa.

Los desconectores con carga tienen una capacidad interruptiva equivalente a la corriente nominal de régimen permanente (400, 630 o 1250 amperios) con un factor de potencia de $\cos \Phi = 1.0$ hasta 0.7. Estos desconectores extinguen el arco voltaico a través de tres cámaras de extinción, fabricadas con parte de material sintético.

Las cámaras de extinción proporcionan un aislamiento para máxima seguridad eléctrica y mecánica, ganchos de arqueo con una punta de tungsteno sumamente resistente a impactos térmicos y al desgaste.

Cuando se utilizan desconectadores con porta fusibles y equipos con bobina de disparo, puede completarse un esquema de protección que abarque no sólo las corrientes de corto circuito, sino que también la protección contra sobre cargas mediante la utilización de transformadores de corriente y un relevador de sobre corriente de sobre carga.

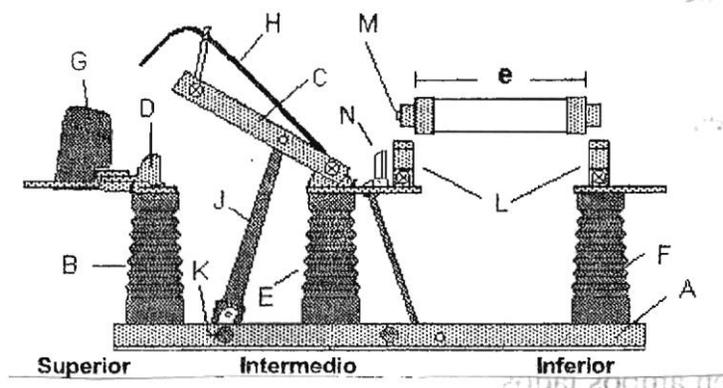
Los desconectores con carga con porta fusibles consisten de un bastidor de acero galvanizado, sobre el cual se montan nueve aisladores de resina epóxica en tres hileras de tres cada una (B). El juego de cuchillas y contactos móviles (C) junto con los ganchos de arqueo (H) están montados sobre la hilera de aisladores intermedios, mientras que los contactos fijos se encuentran sobre los aisladores de la hilera superior (D). Los clip porta fusibles (L) se encuentran instalados sobre los aisladores de hilera intermedia (E) y de la inferior (F).

Las terminales se encuentran sobre los aisladores de la hilera superior y sobre los de la hilera inferior. Generalmente, las terminales superiores se conectan a la parte viva de la instalación, mientras que las terminales inferiores quedan del lado seccionado.

La flecha de accionamiento (K) gira limitada por un tope, entre la posición de completamente cerrado y completamente abierto. Las cuchillas (C) cierran y conectan en los contactos fijos (D) por la acción que sobre ellos ejerce un aislador de accionamiento (J) que es impulsado por levas ubicadas sobre la flecha de accionamiento, al girar ésta. Si los ganchos de arqueo (H) están montados sobre las cuchillas y se insertan en la cámara de extinción de arco (G) entrando en ellas a través de un orificio.

Los fusibles se sostienen por clips porta fusibles (L). El perno percutor (M) en los fusibles se localiza frente a un mecanismo de balancín y palanca (N), que en caso de operar cualquiera de los fusibles acciona el mecanismo de apertura rápida del desconectador, abriéndolo.

Figura 79. **Desconectador con carga, con porta fusible**



Fuente: Información técnica. Boletín de Wdriescher y Wittjohann

2.5.3.1.2. Bombas centrífugas

En una bomba centrífuga, el líquido es forzado por la presión atmosférica u otra hacia un grupo de paletas en rotación que viene a ser un impulsor que descarga el líquido a una presión más alta y a mayor velocidad en su periferia.

Las bombas centrífugas se dividen en categorías, las cuales están relacionadas con el impulsor. Los impulsores se clasifican de acuerdo a la dirección principal del flujo con respecto al eje de rotación. Las bombas centrífugas pueden tener:

- Impulsores de flujo radial
- Impulsores de flujo axial
- Impulsores de flujo mixto

Los impulsores se clasifican, de acuerdo con la disposición del flujo en:

- De succión sencilla, con una sola entrada en un lado
- De succión doble, en que el agua fluye en forma simétrica hacia el
 - impulsor en ambos lados.

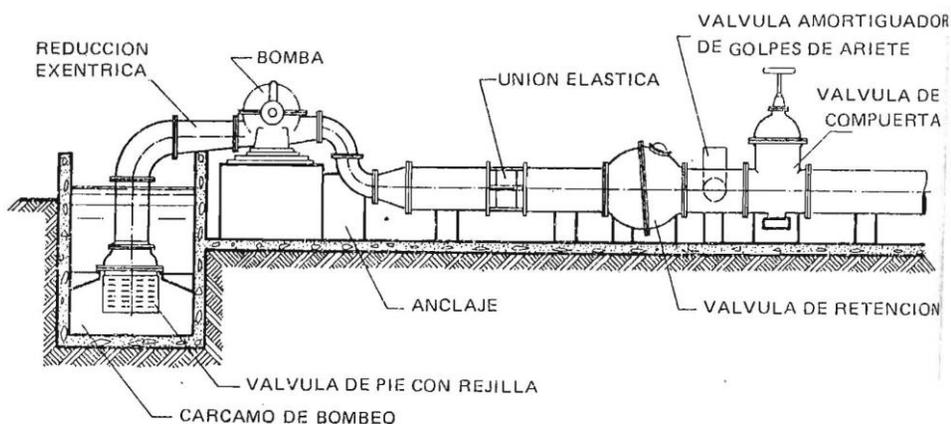
También las bombas centrífugas se especifican por su construcción mecánica, así:

- Cerrados con protección o paredes laterales que cubren los conductos para agua.
- Abiertos sin protección
- Semiabiertos o semicerrados

Si la bomba centrífuga, es del tipo en la cual la carga o elevación se desarrolla con un impulsor sencillo, la bomba se llama de una etapa; cuando se emplean dos o más impulsores que funcionan en serie, la bomba se llama de etapas múltiples. El diseño mecánico de la carcasa añade otra clasificación, dividida en sentido axial o dividida en sentido radial. Además el eje de rotación determina si la bomba es de árbol horizontal, vertical o a veces inclinado. Por lo mismo, se les llama bombas horizontales o verticales.

Algunas bombas operan con el líquido que se le hace llegar y se descarga por medio de tuberías. Otras bombas, por lo general las verticales, están sumergidas en el suministro para succión. También las bombas verticales, a veces, se les llama de pozo seco o húmedo. Si las de pozo húmedo son de flujo axial, de flujo mixto o de turbina vertical, el líquido se descarga por el tubo de bajada o columna hacia un punto de descarga encima o debajo del piso de sustentación. En consecuencia, a éstas bombas se les llama de descarga por encima o por debajo del piso.

Figura 80. **Esquema de montaje de un grupo motor – bomba de gran capacidad**



Fuente: J. M. DE AZEVEDO Netto. Manual de Hidráulica. p. 252

2.5.3.1.3. Compresores

El aire comprimido se utiliza para la operación de máquinas y herramientas, taladrar, pintar, soplar hollín, en transportadores neumáticos, en la preparación de alimentos, en la operación de instrumentos y para operaciones en el sitio de uso. Las presiones van desde 25 psig (172 kpa) hasta 60,000 psig (413.8 Mpa). El empleo más frecuente es a presiones de 90 a 110 psig, que son los límites de la presión normal en casi todas las fábricas en la industria.

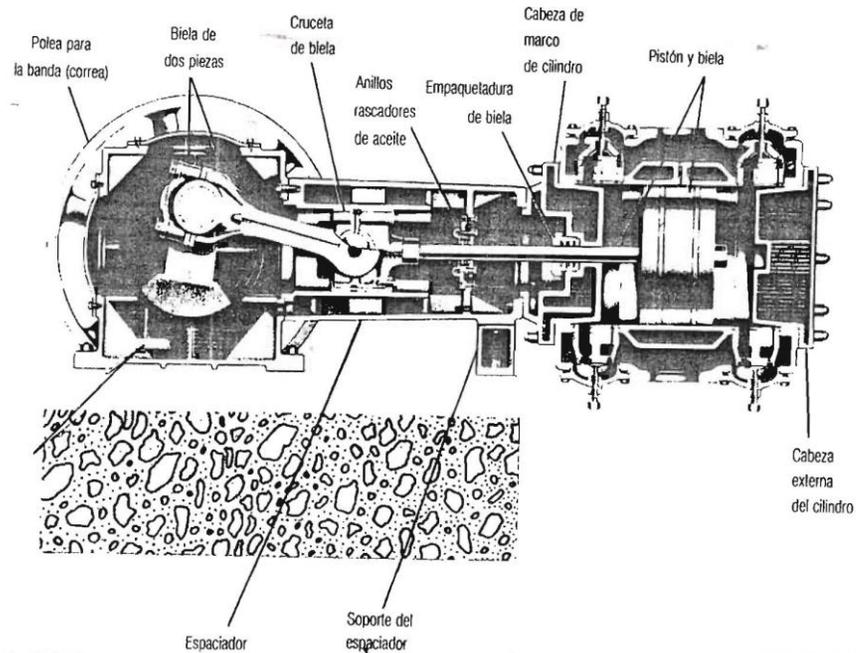
Casi todos los compresores se analizan usando la ley de los gases ideales y se supone que hay un calor específico constante. Para manejar las desviaciones de los gases reales, se aplica un factor de compresibilidad (llamado también de supercompresibilidad). La ley de los gases ideales dará resultados aceptables para los gases que no sean de hidrocarburos, para presiones aproximadamente de 1,000 psig man (6,900 kpa) a temperaturas normales.

Las principales definiciones relacionadas con compresores son:

- La cilindrada del pistón, de un cilindro del compresor es el volumen barrido por el pistón con la deducción pertinente para la varilla del pistón. La cilindrada se expresa, por lo general, en pie cúbicos por minuto.
- El espacio muerto, es el volumen restante en un extremo de un cilindro con un pistón colocado en el extremo de la carrera de entrega para este extremo. El volumen del espacio muerto se expresa como un porcentaje del volumen barrido por el pistón al hacer la carrera de entrega total para el extremo del cilindro que se está considerando.

- La razón de compresión, es la razón de la presión absoluta de descarga a la presión absoluta de alimentación.
- La capacidad real, es la capacidad de gas comprimido y entregado, expresado en pie cúbicos por minuto a la presión y temperatura de entrada.
- La eficiencia volumétrica, es la razón de la capacidad real, en pies cúbicos por minuto y la cilindrada del pistón, en pies cúbicos por minuto, expresada en porcentaje.
- El caballaje adiabático, es el caballaje teórico requerido para comprimir el gas en un ciclo en el que no hay transferencia de calor sensible hacia o desde el gas durante la compresión o la expansión.
- La eficiencia de compresión, es la razón del caballaje teórico al caballaje real que se requiere para comprimir una cantidad definida de gas. La eficiencia, que se expresa en porcentaje, debe definirse con respecto a la base a la que se calculó la potencia teórica, ya sea adiabática o isoterma.
- La eficiencia mecánica, es la razón del caballaje indicado del cilindro del compresor al caballaje de frenado entregado a la flecha en el caso de una máquina con transmisión de potencia. Se expresa como porcentaje.
- La eficiencia total, es el producto, expresado en porcentaje de la eficiencia de la compresión y la eficiencia mecánica. Debe definirse de acuerdo con la base, adiabático o isoterma, que se empleó al establecer la eficiencia de compresión.

Figura 81. **Vista de un compresor recíprocante**



Fuente: AVALLONE, Eugene A. Manual del Ingeniero Mecánico. p. 14-39.

2.5.3.1.4. Intercambiadores de calor

El equipo de transferencia de calor se describe por el tipo de servicio o por el tipo de construcción.

Los tipos básicos de intercambiadores de casco y tubos son las unidades con placas de tubos fijos y de placa de tubos parcialmente restringida. En la primera, ambas placas de tubos están sujetas al casco.

En este tipo de construcción, la expansión diferencial del casco y los tubos debida a las diferentes temperaturas de operación del metal o a los diferentes materiales de construcción puede requerir del empleo de una junta de expansión o de una junta empaquetada. El segundo tipo de unidades sólo tiene

una placa de tubos fijos ubicados en el extremo del canal.

Los problemas de expansión diferencial se evitan usando una placa que flota con libertad o por medio de tubos U en el otro extremo. De igual manera, el haz de tubos de este tipo puede moverse con fines de mantenimiento, así como para limpieza mecánica del lado del casco.

Los detalles de diseño tienen que considerar varios aspectos; entre los principales se encuentran la cantidad de cascos necesarios, el tipo y la longitud de los tubos, la disposición de los cabezales, así como la del haz de tubos.

La cantidad total de cascos necesarios se determina, principalmente, hasta dónde debe enfriar la temperatura de salida del fluido caliente por debajo de la temperatura de salida del otro fluido (conocida como la extensión de la intersección de temperatura).

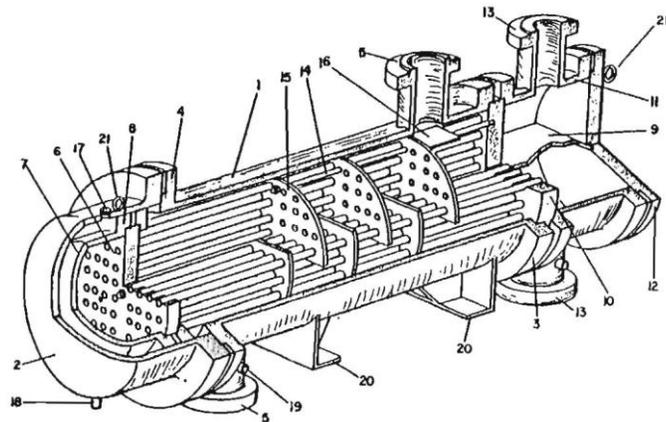
La intersección determina el valor de F_n , el factor de corrección de temperatura; este factor siempre debe ser igual o mayor que 0.80 (el valor de F_n cae lentamente entre 1.00 y 0.80, pero después se acerca a cero con rapidez).

El número total de cascos también depende del área superficial total debido a que el tamaño del intercambiador por lo general está limitado por cuestiones de manejo.

Los tubos del intercambiador casi siempre están disponibles con superficies exteriores planas o con aletas. La selección del tipo de superficie se basa en cuestiones de aplicación, disponibilidad y costos.

La tubería convencional del intercambiador de casco y tubos, es la de tipo de superficie plana que está disponible en cualquier material empleado en la manufactura de intercambiadores y en un amplio rango de espesores de pared. Con tubos de aletas bajas, éstas aumentan el área exterior aproximadamente dos veces y media más que el equivalente de un tubo de superficie plana.

Figura 82. Intercambiador de calor de cascos y tubos



- | | | |
|---|---|-----------------------------|
| 1. Casco | 10. Placa de tubos estacionaria | 16. Desviador de choque |
| 2. Cubierta del casco | 11. Canal | 17. Conexión de ventilación |
| 3. Canal del casco | 12. Cubierta del canal | 18. Conexión de desagüe |
| 4. Brida del extremo de la cubierta del casco | 13. Tobera del canal | 19. Conexión de prueba |
| 5. Tobera del casco | 14. Barras de amarre y espaciadores | 20. Bases de soporte |
| 6. Placa de tubos flotante | 15. Desviadores transversales o placas de soporte | 21. Anillo de elevación |
| 7. Carga flotante | | |
| 8. Brida de la carga flotante | | |
| 9. Partición del canal | | |

Fuente: POPE, J. Edgar. Soluciones Prácticas para el ingeniero mecánico. p. 34

Tabla XXI. Tipos de intercambiadores de calor

Tipo	Características principales	Aplicación
Casco y tubos	Haz de tubos encerrados en un casco cilíndrico	Siempre es el primer tipo de intercambiador que debe considerarse
Intercambiadores de calor enfriados por aire	Haz de tubos rectangulares montados en un armazón utilizando aire como medio de enfriamiento	Económico donde el costo del agua de enfriamiento es alto
Tubería doble	Tubería dentro de una tubería; la tubería interior puede ser con aletas o plana	Para unidades pequeñas
Superficie extendida	Tubo con aletas externas	En servicios donde la resistencia exterior del tubo es considerablemente superior que la superficie interna. También se utiliza en unidades existentes para eliminar cuellos de botella
Placas aletadas de bronce	Serie de placas separadas por aletas corrugadas	Servicios criogénicos: todos los fluidos deben estar limpios
Envoltura en espiral	Rosca de tubo envuelto en espiral dentro de una cubierta	Servicios criogénicos: los fluidos deben estar limpios
Superficie frotada	Tubería dentro de tubería, con aletas rotativas que raspan la pared interior del tubo interno	Aplicaciones de enfriamiento de cristalizaciones
Tubo de bayoneta	El elemento del tubo consta de un tubo exterior y otro interior	Útil para un alto diferencial de temperatura entre los fluidos del casco y los tubos
Enfriadores de película que cae	Unidades verticales que emplean una película delgada de agua en los tubos	Aplicaciones especiales de enfriamiento
Enfriadores de gusano	Tubería en forma de resorte que se sumerge en una caja de agua	Enfriamiento de urgencia
Condensador barométrico	Contacto directo de agua y vapor	Donde lo permiten las solubilidades mutuas de agua y el fluido del proceso
Enfriadores de cascada	El agua de enfriamiento fluye sobre series de tubos	Aplicaciones especiales de enfriamiento para fluidos de proceso muy corrosivos
Grafito impermeable	Construido a base de granito para proteger contra la corrosión	Empleado en servicios de intercambio de calor muy corrosivo

Fuente: POPE, J. Edgar. Soluciones Prácticas para el ingeniero mecánico. p. 34

2.5.3.2. Barras electrolíticas

Cuando se menciona el término electrolíticas, son barras hechas de cobre con un 99 % del mismo, esto para garantizar en el diseño una mejor ampacidad de transporte de corriente eléctrica.

Cuando las corrientes a transmitir superan las correspondientes de más cables de secciones máximas alcanzando el orden de los 1,000 amperios, la solución con cables resulta dificultosa y se prefiere instalar barras sostenidas por aisladores.

Las barras también son preferidas para realizar los nodos de la red eléctrica, desde donde se derivan cables o líneas aéreas, estos puntos están representados en tableros, cabinas eléctricas o estaciones eléctricas, desde donde se reparte la energía.

La instalación con barras, tiene algunas ventajas: rapidez, claridad de conexiones, seguridad de las distancias, éstas justifican la preferencia, dentro de los tableros, con corrientes elevadas, las barras son solución casi obligadas y también se utilizan rígidas en las soluciones de alta tensión.

El criterio de diseño de las barras debe tener en cuenta las solicitudes que sobre ellas se presentan, debidas a su función y a distintas situaciones de origen externo.

Al igual que los cables, las barras transportan cierta corriente permanente, pero muchas veces distinta de un tramo a otro, cuando hay derivaciones. También cuando se producen corto circuito, las corrientes en un

tramo de barras y otro son distintas, debido a los aportes de cada una de las conexiones (derivaciones).

2.5.3.2.1. Dimensionamiento para corriente permanente

Las barras deben estar dimensionadas para la corriente que deben transportar en régimen permanente, en éste caso se hace el balance del calor que se produce en barra por efecto Joule y el calor que se disipa al ambiente en distintas formas, en particular radiación y convección.

El dimensionamiento térmico en régimen permanente puede hacerse con distintos métodos, algunos ofrecen fórmulas y otras tablas.

El balance del calor, por unidad de longitud del conductor, es el siguiente:

$$I^2 \times \rho / S = \Delta t \times k \times p \quad (2-52)$$

Donde:

I = corriente transportada.

ρ = resistividad del material.

S = sección del conductor.

Δt = salto de temperatura, conductor ambiente.

k = factor que mide el calor disipado por unidad.

p = perímetro correspondiente a la superficie de disipación.

El dimensionamiento se hace en función de la densidad de corriente:

$$i = I / S \quad (2-53)$$

Sustituyendo, i en I:

$$i^2 \times \rho = \Delta t \times k \times p / S \quad (2-54)$$

Partiendo de las tablas de capacidad de transporte se puede determinar i en función de parámetros básicamente geométricos.

Con este modo de cálculo se puede encontrar la capacidad de transporte de conductores de distinto tamaño y forma. Los materiales comúnmente usados para las barras son el cobre y el aluminio, este último prácticamente es el único usado cuando las corrientes superan los 10,000 amperios.

Las formas de las barras pueden ser planas, una o más por fase, separadas por distintos espaciamientos, redondas macizas o tubulares, en forma de perfil C o dos perfiles enfrentados o bien formas realizadas con chapa doblada u otras formas para soluciones particulares.

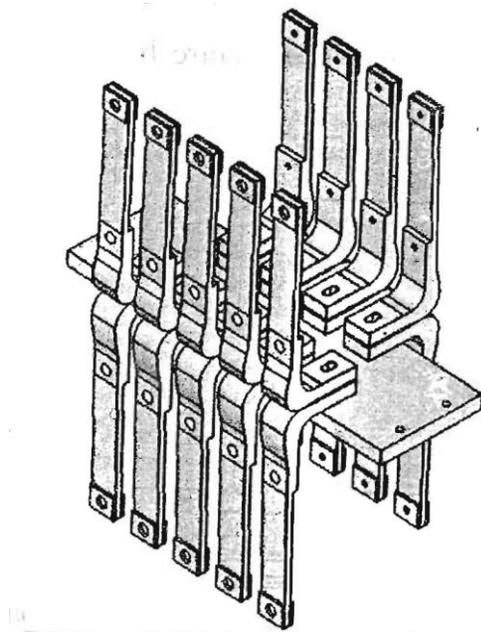
La temperatura máxima que el conductor puede alcanzar, no debe causar daño a soportes y otros elementos próximos. Generalmente, las uniones entre barras abulonadas fijan un límite de temperatura menor. De igual forma, la capacidad de transporte depende particularmente del salto de temperatura entre barra y ambiente, mayores saltos significan mayor capacidad de transporte y mayores pérdidas.

El pintado de las barras también afecta la capacidad de transporte, ya que particularmente influye en la disipación del calor de radiación. Debe observarse que la densidad de corriente al aumentar la sección, decrece porque la relación P/S se reduce (si se conserva la similitud geométrica),

también la densidad decrece cuando hay barras múltiples, ya que se produce un efecto de calentamiento mutuo entre barras próximas, se pueden determinar coeficientes de reducción relacionando las capacidades de transporte.

Normalmente, para la planta cloro soda, las barras de acoplamiento entre transformador rectificador y electrolizadores son de aluminio con dimensiones de 0.76 x 0.13 metros para una capacidad de transporte de 50 ka. A continuación se muestra un dibujo de barra de cobre, acoplamiento entre electrolizadores.

Figura 83. **Barra de cobre electrolítico, para acoplamiento de electrolizadores**



Fuente: Información técnica. Manual de Watteredge

2.5.3.3. Tableros como centro de control de motores (MCC)

Cuando un sistema eléctrico consiste de varios motores, puede desearse localizar sus componentes de control en una localidad separada, para esto, se usan los llamados centro de control de motores (MCC), donde generalmente se instalan arrancadores para cada motor, la respectiva protección térmica y algunas veces también se instala la protección termo magnética.

2.5.3.3.1. Tableros eléctricos

Normalmente, los equipos de protección y de control, así con los instrumentos de medición, por lo general se instalan en los tableros eléctricos.

La mayoría de trabajos en tableros eléctricos se debe iniciar con un diagrama unifilar, pero el conjunto de planos debe contener lo siguiente:

- Diagrama unifilar.
- Diagrama de control.
- Diagrama de interconexión.

Estos tres tipos de planos ayudan a la interpretación de la instalación de equipos y componentes de protección, medición y control.

Los tableros eléctricos se clasifican así:

- Tableros de baja tensión. Son aquellos que trabajan a una tensión no mayor de 1,000 voltios en corriente alterna o no mayor de 1,500 voltios

en corriente continúa. Los valores de tensiones nominales para tableros de corriente alterna en baja tensión son:

120, 240, 480 y 600 voltios
281

Para corriente continúa, las tensiones nominales son:

125, 250 y 600 voltios

- Tableros de alta tensión. Son aquellos que trabajan a una tensión mayor de 1,000 voltios en corriente alterna o mayor de 1,500 voltios en corriente continúa.

Las tensiones nominales para los tableros de corriente alterna en alta tensión son:

2400, 4160, 7200, 13800, 23000 y 34500 voltios

Las corrientes nominales para tableros de alta tensión en corriente alternan o continúa son:

600, 1200, 2000, 3000, 4000 y 5000 amperios

2.5.3.3.2. Características constructivas de los tableros

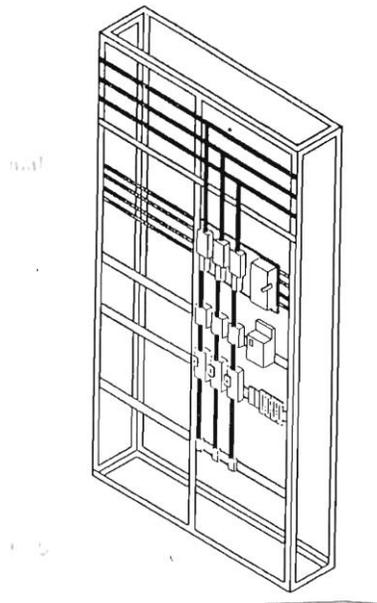
Estas características se basan en las condiciones generales de servicio, es decir, tableros que utilizan el aire como medio aislante y refrigerante deben

ser diseñados para operar en interiores, a una altura de 1,000 metros sobre el nivel del mar (msnm) y a una temperatura no mayor de 40 ° C, cuando operan a una altitud mayor y temperaturas superiores a las indicadas.

Una diferencia fundamental para los tableros en cualquier tipo de aplicación es, si el tablero es abierto o cerrado.

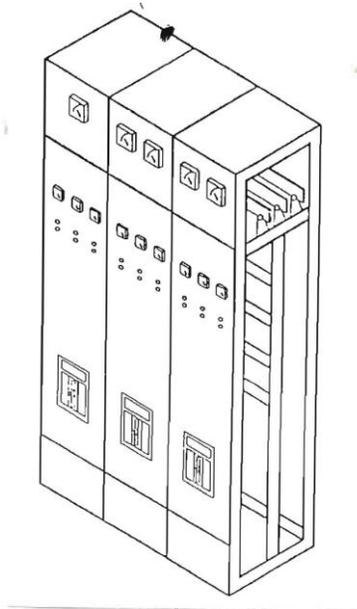
- Tableros abiertos, son aquellos sin protección al frente con las partes en tensión accesibles.
- Tableros cerrados, generalmente son tableros que se utilizan en ambientes ordinarios.

Figura 84. **Tablero completamente abierto**



Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. p. 413.

Figura 85. **Tablero con protección**



Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. p. 413.

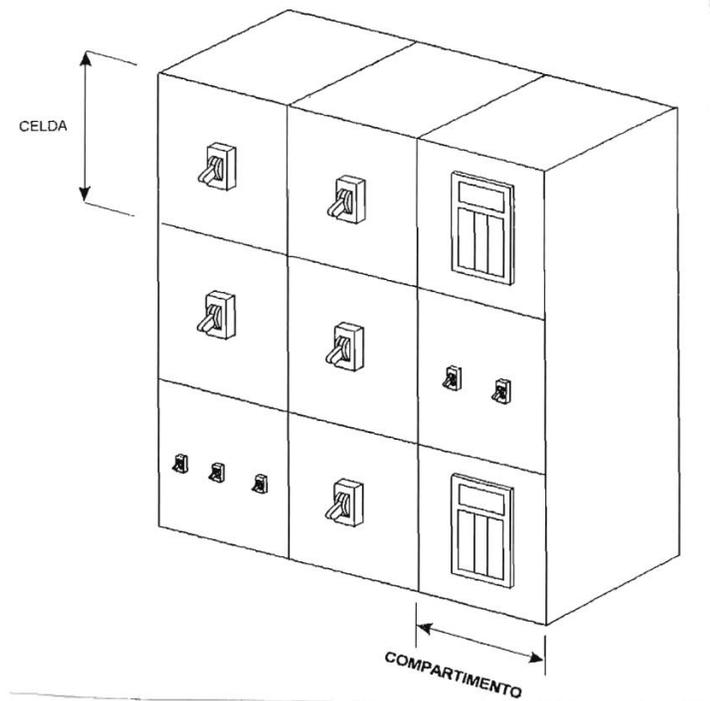
Los tableros generalmente tienen forma de armario, que se apoyan en el suelo y que se pueden subdividir en compartimientos y celdas. Un compartimiento es una unidad constructiva comprendida entre dos planos de delimitación vertical sucesivos.

Una celda, se entiende como una fracción de un compartimiento completamente cerrado, a excepción de las aperturas necesarias para las interconexiones, el comando y la ventilación.

Las construcciones actuales de tableros, son en general modulares ya que permiten la realización de tableros de dimensiones notables a partir de pocos elementos modulares, de fácil transporte y montaje sucesivo en el lugar.

Se tiene una gran difusión y también soluciones integrales que permiten manejar kits para el montaje de cables y una gran variedad de aparatos.

Figura 86. **Tablero formado por compartimientos**

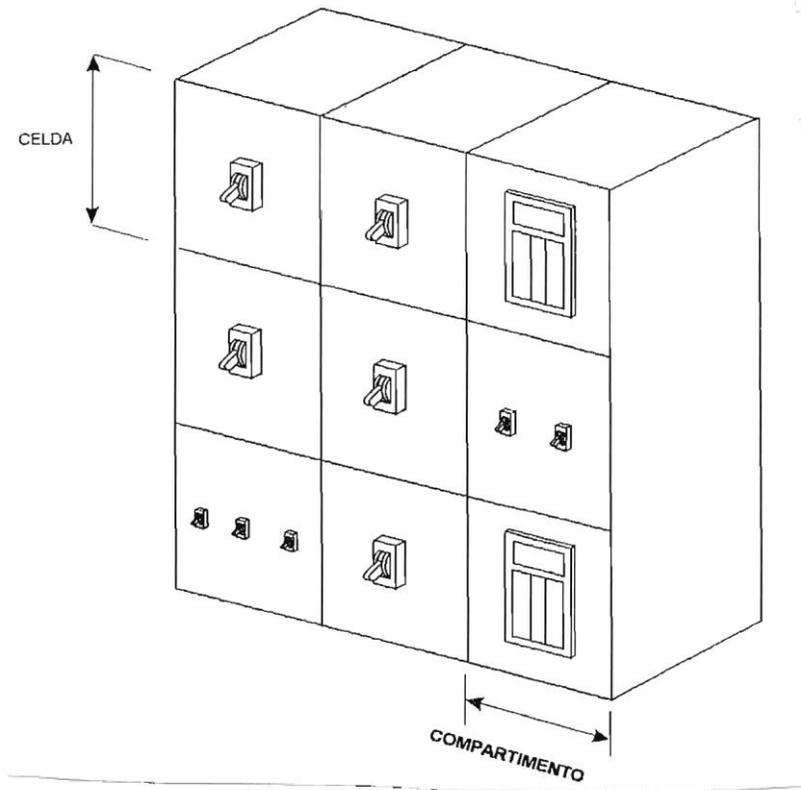


Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. p. 414.

2.5.3.3.3. Centro de control de motores

Los centros de control de motores, están destinados al control y a la protección centralizada de los motores; por lo tanto, comprenden los aparatos relacionados con la operación coordinada de maniobra y protección (unidad funcional autónoma) y aquellos auxiliares de control y señalización. Cada motor tiene asignado una unidad o caja del centro de control, de modo que sea posible intervenir con seguridad sobre una sola unidad de salida, sin cortar la alimentación eléctrica a otros motores.

Figura 87. Centro de control de motores



Fuente: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. p. 418.

3. FASE DE INVESTIGACION

3.1. Plan de contingencia

La necesidad de prepararse anticipadamente ante emergencias que provocan impactos negativos en la industria con proceso químico, especialmente en una planta cloro-soda cáustica, surge en respuesta a mantener la seguridad y la calidad en el proceso.

Un plan de contingencia en caso de emergencia, en la industria Cloro-Soda, prepara a la empresa en la forma de responder ante accidentes, emergencias o desastres tecnológicos, para así reducir su impacto, normalizar y restaurar las actividades de la empresa.

3.1.1. Fundamento

El fundamento básico de un plan de contingencia es planificar las acciones a tomar ante las emergencias que tengan impactos negativos, antes de que sucedan los eventos que las provocan. De igual forma, un plan de contingencia persigue ser una guía que sirva de instrumento básico y que contenga la información para lograr coordinación, eficiencia e intervención oportuna y acertada.

En el proyecto y la acción para prevenir, mitigar y atender las emergencias, especialmente en la industria de proceso de cloro y soda cáustica.

Es importante mencionar lo fundamental que es la implementación del entrenamiento del personal, la evaluación y revisión de las acciones planificadas, es decir: ¿Cómo comprobar si lo que se ha planificado es eficaz?. La evaluación y revisión de las acciones de un plan generalmente se realiza con base a hechos reales, simulaciones y simulacros de emergencia, lo cual permite mejorar continuamente el plan y retroalimentarlo.

3.1.2. Objeto

Dentro de los objetivos del plan de contingencia para la planta Quimoalcali, es definir de acuerdo a sus políticas y prioridades; a quienes está destinado el o los planes de contingencia y a qué nivel; también debe describirse que es lo que se espera lograr con la implementación del o de los planes.

Además, otro objetivo del plan es proporcionar un conjunto de directrices e información destinadas a la adopción de procedimientos lógicos, técnicos y administrativos estructurados para facilitar respuestas rápidas y eficientes en situaciones de emergencia. El principal objetivo siempre debe de ser proteger la vida, el medio ambiente y las propiedades materiales. En términos generales, los objetivos del plan deben estar orientados a las siguientes características:

- Debe restringir los daños en el área de ubicación de la planta, para evitar que los impactos sobrepasen los límites de seguridad.
- Debe contemplar todas las acciones necesarias para evitar que situaciones internas o externas de las instalaciones involucradas en el accidente, contribuyan a su agravamiento.

- El plan de contingencia, debe ser un instrumento práctico que facilite respuestas rápidas y eficaces en situaciones de emergencia.
- El plan de contingencia, debe ser lo más sencillo posible y contemplar de forma clara y objetiva las atribuciones y responsabilidades de las personas involucradas.

3.1.3. Antecedentes y marco legal

La planta Quimoalcali, es un lugar químico industrial, donde su proceso consiste de la separación molecular del cloruro de sodio (sal).

3.1.3.1. Antecedentes

La separación a través de electrólisis, representa la fabricación de cloro, soda cáustica y otros derivados. Ante el manejo de sustancias químicas en el desarrollo del proceso, la planta está obligada a analizar y mitigar los efectos de:

- Accidentes químicos:
 - Emisiones o fugas: escapes (gases o vapores) y derrames (líquidos).
 - Intoxicación
 - Corrosión a personas
- Accidentes térmicos:
 - Incendio
 - Quemaduras por conducción (contacto), convección o radiación

- Accidentes mecánicos:
 - Explosiones: onda de sobre presión y proyectiles
 - Caída de objetos
 - Golpes y caídas personales

- Accidentes eléctricos:
 - Iniciadores de fuego y explosión
 - Electrocución

3.1.3.2. Marco legal

La legislación industrial resulta del conocimiento y la consulta imprescindible de proyectos industriales, donde se dan a conocer los trámites, documentos a preparar y presentar; así como las inspecciones y autorizaciones de ley.

Ante los acontecimientos de acciones de emergencia en desastres, existen los aspectos de leyes y reglamentos que amparan y regulan los mismos:

- Decreto ley 109 – 96 de la Coordinadora Nacional para la reducción de Desastres Naturales o provocados, con el propósito de prevenir, mitigar, atender y participar en la rehabilitación y reconstrucción por los daños derivados de los efectos de los desastres.
- Ley de desarrollo social (decreto No. 42 – 2001)
- Ley de consejos de desarrollo Urbano y rural (decreto No. 14-2002)
- Ley general de descentralización (decreto No. 14-2002)
- Nuevo código municipal (decreto No. 12-2002)
- Ley de adjudicación y renta (decreto No. 12-2002)

- Entre los reglamentos, se tiene el Acuerdo Gubernativo No. 179-2001, declaratoria de alto riesgo.
- Acuerdo Gubernativo (decreto No, 13-2003), reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental.

3.1.4. Definiciones

A continuación se detallan algunas definiciones que son necesarias conocer para la realización de las diversas actividades.

3.1.4.1. Estructura de un plan de contingencia

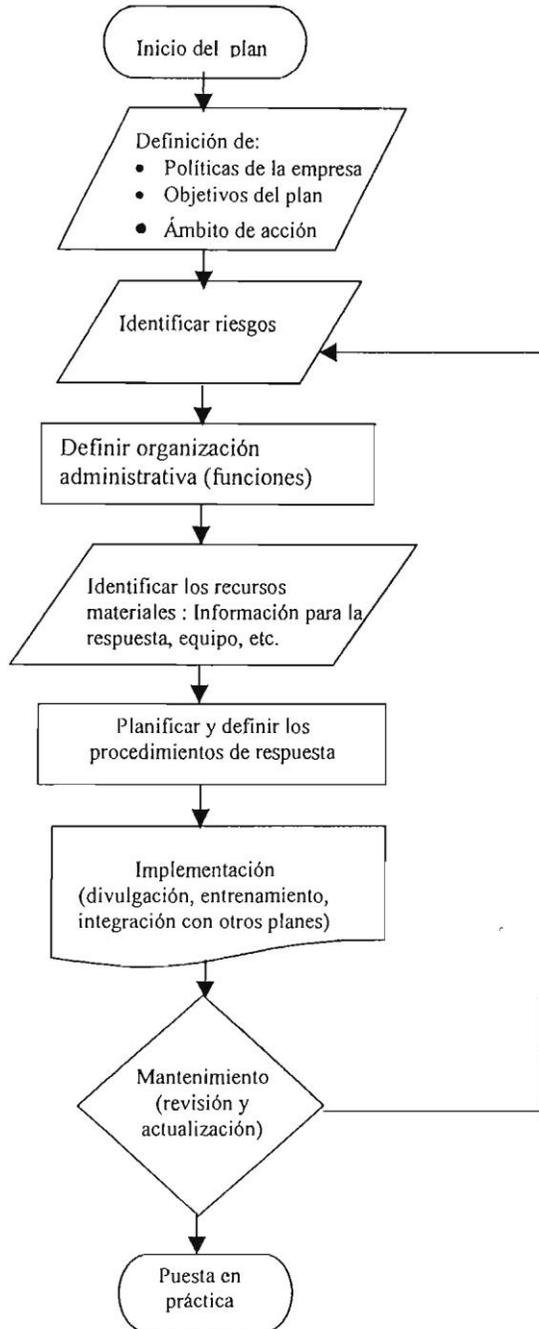
El plan se conforma de elementos de identificación y planificación, que determinarán a que emergencias se va a responder, cómo se va actuar, con qué y con quiénes se hará.

La realización de los pasos descritos en un plan, tiene como resultado la estructuración del plan de acción, sin descuidar que los elementos pueden realizarse según criterios, recursos y funcionalidad de la planta.

3.1.4.2. Pasos para elaborar un plan de contingencia

- Desarrollar las partes preliminares del plan
- Identificar y analizar los riesgos
- Definir la organización administrativa
- Definir los recursos materiales para enfrentar la emergencia
- Determinar las acciones de respuesta a emergencias
- Implementar el plan y darle mantenimiento

Figura 88. Diagrama de flujo para elaborar un plan



Fuente: STORCH DE GRACIA, J.M. Manual de Seguridad Industrial. p 246.

3.1.4.3. Presentación del plan

La estructura del documento puede variar según los criterios de quienes realizan el plan, de acuerdo a sus necesidades. Lo que se requiere es que cumpla con los elementos mínimos que lo hagan eficaz. Cuando se han cumplido los pasos de la elaboración del plan, la planta debe realizar el documento. El plan debe incluir los resultados finales de los estudios y a lo que se llegó con la planificación. Es muy importante que el plan sea un instrumento práctico.

3.2. Plan de contingencia ante fugas: escapes y derrames, incendios y explosiones

Es necesario contar con un plan de contingencia para cualquier situación peligrosa que se pueda generar.

3.2.1. Naturaleza del riesgo

A continuación se definen las naturalezas de los riesgos.

3.2.1.1. Fugas: escapes y derrames

Uno de los orígenes más frecuentes de los accidentes que pueden suceder, son las fugas de sustancias en forma de escapes (gases o vapores) y derrames (líquidos). En una planta químico industrial, las posibilidades de evolución accidental de las fugas depende de:

- Condiciones (presión, temperatura, cantidad) y estado físico del fluido fugado.

- Naturaleza química (inflamabilidad, toxicidad)
- Tipo de sistema de contención (equipo cerrado o abierto) en el que se origina la fuga.
- Condiciones de entorno (geometría, topografía, meteorología) hacia el que produce la fuga.

3.2.1.2. Incendios

Los incendios son reacciones de oxidación, generalmente con aire como comburente, de materias combustibles. Los efectos de estos accidentes son:

- Calor (generalmente radiante) que produce daños de por sí y porque puede propagar la cadena accidental.
- Humos sofocantes y/o tóxicos.
- Onda explosiva de sobre presión cuando se dan ciertas condiciones de aceleración de la velocidad de reacción y/o de contención. Otro efecto que puede propagar la cadena accidental.

En las plantas químicas las posibilidades de incendios pueden ocurrir de varias maneras que dependen de la naturaleza (propiedades físicas y químicas) y de la disposición del combustible.

- Incendio de líquidos en disposición abierta: en este caso el incendio se produce en una condición abierta (no presurizada).
 - Líquido derramado en un área más o menos extensa.
 - Recipiente abierto (sin techo) o a presión atmosférica.

Las manifestaciones de este tipo de incendio suelen ser la emisión de calor y la de humo.

- Incendio de líquidos con rebosamientos violentos: este caso es la complicación del caso anterior que, generalmente, se presenta en los incendios de tanques para almacenamiento donde la altura de líquido combustible es considerable. Los dos fenómenos que se consideran aquí dan lugar a proyecciones o rebosamientos que pueden propagar el incendio y/o sus efectos dañinos.

- Incendio de gases o vapores en nube abierta. en el caso de inflamación inmediata (no diferida) de una nube de gases o vapores que se ha situado de forma rápida en espacio abierto. Sus efectos intrínsecos son:
 - Radiación térmica, muy intensa y de corta duración, originada en una llama voluminosa.
 - Evolución hacia la forma de hongo por la ascensión de gases muy calientes y más ligeros que el aire.
 - Sobre presión no significativa.

- Incendio de gases o vapores en fuga local presurizada: cuando hay una fuga localizada de gases o vapores (inflamables) a presión (por ejemplo, a través de perforaciones, bridas o estopas, etc.) éstos se pueden incendiar dando lugar a un fuego semejante al del dardo de un soplete. Este tipo de incendio tiene un peligro relativamente bajo en sí mismo (se deberá cortar la fuente de presión y caudal que origina la fuga y proceder a la extinción, pero si el dardo afecta a equipo colindante, puede dar lugar a otros accidentes más graves). Por ello, es importante evitar la cercanía de elementos propensos a fugas con respecto a otros para evitar el efecto de propagación.

3.2.1.3. Explosiones

Las explosiones, son fenómenos caracterizados por el desarrollo de una presión (dentro de sistemas cerrados) o de una onda de sobre presión (en espacios abiertos) que dan lugar a daños mecánicos.

Según su origen y naturaleza las explosiones pueden estar en el inicio de una fuga (con consecuencias tóxicas y/o incendiarias) o deberse a la evolución de una combustión auto acelerada hacia la detonación (propagación supersónica). Para tener un criterio para iniciar la clasificación de los tipos de explosiones, debe considerarse el origen, los materiales y el grado de contención. También deben limitarse las explosiones de tipo industrial: en recipientes y tuberías; de gases, vapores, nieblas y polvos.

- Explosiones iniciadoras de fugas: las explosiones, son las que dan lugar a una fuga iniciando así una cadena accidental que puede continuar con emisión tóxica, incendio y otras explosiones. Las explosiones iniciadoras en sistemas cerrados. Estas se dividen en dos grupos: por exceso de presión y por debilitamiento de materiales debido al calor, frío o corrosión.

Cuando existe un peligro de explosión por exceso de presión significa que, por alguna razón se sobrepase la presión correspondiente a la resistencia mecánica de los sistemas contenedores (recipientes, tuberías, etc.) determinándose así el fallo de contención o confinamiento que origina la fuga del fluido contenido. Cuando aparece ésta causa, se determina la criticidad del diseño de proceso y equipo para su prevención mediante:

- Diseño de recipientes y tuberías, espesores, presiones y temperaturas de diseño.
- Dispositivos para el alivio controlado de presiones excesivas.
- Instrumentación protectora que controla las condiciones del proceso y de las reacciones incluyendo las paradas de emergencia y el apagado de reacciones, etc.

Además, las explosiones a causa por exceso de presión, pueden distinguirse adicionalmente:

- Por causa del proceso: conexión indebida a equipo con presiones mayores, golpes de ariete, etc.
- Por reacciones o descomposiciones exotérmicas descontroladas o indebidas (incluyendo las combustiones explosivas).
- Por dilatación de una fase líquida única

Cuando se tiene un debilitamiento de materiales debido al calor, al frío o a la corrosión se previene mediante:

- Protección contra el calor: calorifugado, refrigeración, etc.
- Protección contra el frío: acompañamiento térmico, calefacción, etc.
- Protección contra la corrosión: materiales y sobre espesores para corrosión o revestimientos adecuados, protecciones eléctricas, inspecciones periódicas, etc.

En las explosiones iniciadoras en sistemas semi-abiertos. Cuando la apertura parcial en sistemas cerrados, pasándolos a la condición de semiabiertos, esto ocurre cuando se produce un orificio (por impacto de un proyectil, por apertura de un dispositivo de alivio-válvula de seguridad o disco de ruptura, etc.), o una grieta (por fallo del material, como efecto de un impacto, choque o calor de incendio exterior). En algunos casos,

se produce entonces una fuga de fluido a presión o una fuga controlada (por ejemplo: recogida a un colector y enviada para su tratamiento o destrucción).

- Explosiones como consecuencia de fugas: se puede considerar dos condiciones:
 - Ignición diferida de gases y vapores no confinados. Por ello se puede decir:
 - La nube de vapor o gas fugado es inflamable
 - La ignición (diferida) de la nube se produce un tiempo después de la fuga.

Para tales casos, una parte de la energía de la combustión se manifiesta en forma de energía mecánica asociando al fuego una onda de sobre presión. Tal onda, a su vez, está conectada con el avance (subsónico: deflagración; supersónico: detonación) del frente de llama en el seno de la nube inflamada.

- Ignición diferida de polvos y nieblas no confinadas: en concordancia a lo ya dicho, las explosiones del polvo suspendido (a las que se añadio aquí las de niebla) acontecen según mecanismos (por ejemplo: ignición-deflagración-detonación) semejantes a los gases y vapores. Sus efectos son considerados parecidos a:
 - La carga energética por unidad de volumen es mayor para polvos y nieblas que para gases y vapores.
 - Los polvos tienen menos capacidad de difusión (dispersión) en el espacio que gases, nieblas y vapores.

- Explosiones como consecuencia de incendios: para continuar con el desarrollo de la cadena accidental conviene considerar las explosiones que son consecuencia de un incendio, estas están asociadas a las explosiones como consecuencia de fugas. Esto ocurre cuando las llamas lamen la parte exterior de un contenedor (recipiente o tubería) calentándolo.

El calor originado en un incendio de cualquier tipo puede dar lugar a explosiones causadas por fugas, consideradas así:

- En sistemas cerrados: comprenden las explosiones dadas por exceso de presión, por debilitamiento de materiales y por el calentamiento de contenedores (recipientes y tuberías).
- En sistemas semiabiertos: comprende las explosiones por fuga controlada, por fuga corriente y por fuga con ebullición por despresurización súbita de líquidos.

La propia apertura parcial del sistema puede deberse al fallo del material del continente por efecto del calor (sobre todo en la parte que está en contacto con la fase de vapor no refrigerada por la ebullición del líquido).

Explosiones como consecuencia de otras explosiones. Para completar los eslabones posibles de una cadena accidental es conveniente mencionar que una explosión puede desencadenar fugas, incendios y otras explosiones. Por una parte, la onda explosiva puede deformar y hasta destruir equipos continentes (recipientes, tanques, columnas, tuberías, etc.) a su paso. Por otro lado, los proyectiles procedentes de una explosión pueden causar efectos similares.

3.2.2. Alcance de las consecuencias

La evaluación cuantitativa de las consecuencias, así como del alcance, forman parte importante de los análisis de riesgos, éstos permiten:

- Establecer distancias de seguridad
- Asignar recursos y modos de protección
- Considerar modificaciones en los procesos que atenúen los riesgos

En términos generales, se trata de modelos matemáticos que permiten evaluar las circunstancias en el lugar de origen de un siniestro y lo que es más importante, la variación de las consecuencias con la distancia contada desde el mismo. La secuencia de sucesos suele ser:

- Emisión (con evaporación si es líquida)
- Dispersión de gases o vapores
- Efectos tóxicos, nocivos o molestos
- Inflamación (si el gas o vapor es inflamable)
- Incendio
- Efectos de la radiación térmica
- Explosión

3.2.2.1. Emisiones tóxicas y/o inflamables

Debe señalarse que los siguientes modelos matemáticos que cuantifican la variación de concentración (en el espacio) con la distancia, se mencionan para contestar:

- ¿Cuál sería, C_{max} ?, ¿Es aceptable?, inferior a:

- nociva
 - molesta
 - límite inferior de inflamabilidad
-
- ¿A qué distancia X_{max} , se producirá C_{max} al ras del suelo?
 - ¿Hasta qué distancia (XLN o XLM) no disminuirá la concentración mínima nociva por debajo de los límites inferior de nocividad o de molestias, respectivamente?
 - ¿Cuál será la distancia ($XXLII$) a la que la concentración haya descendido al valor del límite inferior de inflamabilidad ($CLII$)?, ¿Cuál sería el radio de una bola de fuego eventual?

Donde:

C_{max} = concentración máxima de componente nocivo o inflamable al nivel del suelo y dentro de la zona de dispersión.

X_{max} = distancia (pies) desde el punto de emisión al punto C_{max} .

XLN = distancia en que la concentración ha descendido hasta alcanzar el límite de inflamabilidad.

XLM = distancia en que la concentración ha descendido hasta alcanzar el límite inferior de molestias (olor, irritación, etc.).

$XXLII$ = distancia límite máximo de llama (fuego).

$CLII$ = concentración límite máximo nocivo o inflamable.

Tabla XXII. Características indeseables de algunos gases

Sustancia	Límite inferior de inflamabilidad en aire (%)	A Concentración nociva TLV	B Umbral olfativo (ppm)	«Aviso» A — B	Coefficiente de difusión en el aire 0°C y 1 atm (cm ² /seg)
Amoníaco	15	100	53	1,9	0,170
Acetonitrilo	3	20	-	-	-
Benceno	1,3	35	1,5	23	0,079
Butano	1,8	-	-	-	-
Cloro	n.i.	1	3,4	0,3	0,093
Cloro de hidrogeno	n.i.	5	-	-	0,128
Cloro de vinilo	3,6	500	-	-	-
Dióxido de azufre	n.i.	10	3	3,3	0,102
Dióxido de nitrógeno	n.i.	5	-	-	-
Etileno	2,7	-	-	-	-
Fenol	n.i.	5	0,29	17	0,008
Formaldehído	-	5	-	-	-
Gasolina	1,25	100	-	-	-
Metanol	6,7	200	410	0,5	0,133
Monóxido de carbono	12,5	100	-	-	-
Ozono	-	0,1	-	-	-
Oxido de etileno	3,6	100	-	-	-
Propileno	2,1	-	-	-	-
Propano	2,1	-	-	-	-
Sulfuro de hidrógeno	4,0	20	1	20	0,122
	Concentración	C ₁₀	C ₁₈	C ₁₅	-
	Distancia	X ₁₀	X ₁₈	X ₁₅	-

Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 81.

3.2.2.2. Incendios

Para estimar el calor recibido desde una llama cualquiera, puede aplicarse la ecuación de Hajek, para diseñar la altura de antorcha:

$$qr = 0.0796 \phi m \Delta H_c / d^2 \quad (3-1)$$

Donde:

qr = flujo de calor radiante recibido a distancia d desde el centro de la llama (BTU / hr-pie²).

ϕ = fracción del calor emitido que se convierte en radiación (tanto por 1).

Valores aproximados: hidrógeno = 0.14; butano = 0.29; metano = 0.16, etc.

ΔH_c = calor de combustión de los gases o vapores incendiados (BTU / lb).

m = caudal másico de gases o vapores quemados (lb / hr).

d = distancia desde el punto central de la llama hasta el punto considerado (pies).

El flujo de calor radiante q_r , puede compararse con los valores de la siguiente tabla para establecer la relación entre distancia y daños.

Tabla XXIII. **Efectos de la radiación térmica de un incendio**

Flujo de radiación térmica Kw/m ²	Tiempo máximo de exposición para personas (segundos)	Efectos sobre personas a mayor tiempo de exposición. Otros efectos sobre los materiales y estructuras
1,2	–	Recibida del sol en verano a mediodía.
1,4	Infinito	(1)
1,6	–	Umbral de sensación dolorosa.
2,1	60	Dolor
4,0	30	Aparición de ampollas en la piel no protegida.
4,7 (2)	15-20 30	Dolor Quemaduras de primer grado. Deshidratación de la madera.
9,5	6	Descomposición de la madera.
12,6	4	Ignición de la madera. Fusión de los recubrimientos plásticos en cables eléctricos.
23,0	–	Estructuras ligeras, tanques de almacenamiento y otros elementos de equipo ligeros y no protegidos pueden fallar.

Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 83.

3.2.2.3 Explosiones

Cuando se habla del tema explosiones, hay que mencionar los siguientes términos:

- Explosión: todo fenómeno de combustión que se propaga
- Deflagración: explosión que se propaga isobáricamente y a velocidad subsónica (inferior a 340 m / seg. en aire).
- Detonación: explosión de naturaleza no isobárica que se propaga a velocidad supersónica.

También debe decirse que una deflagración puede acelerarse si hay material combustible y aceleración (tiempo y espacio) suficientes hasta transformarse en una detonación. Toda detonación habrá tenido una deflagración como etapa de inducción. Por otro lado, si las condiciones mencionadas no son adecuadas, la deflagración se apagará. Se dice que la transición entre deflagración y detonación ocurre en cuestión de milisegundos, de centímetros y cuando la velocidad de avance de llama y de onda de presión alcanza valores del orden de 1,800 – 1,900 m / seg. Por otro lado, se postula que con una velocidad de 100 m / seg., ya se generan sobre presiones destructivas de orden de 0.1 atm.

Las explosiones deflagrantes generan presiones suficientes para hacer daños, aunque admiten ser suprimidas o venteadas antes de que se conviertan en detonantes. Lo anterior sobre la transición impone que los sistemas para supresión de explosiones tengan que actuar con rapidez extremada (mseg.).

Las explosiones detonantes generan presiones máximas (pico) del orden de cuatro veces las de las deflagrantes, no pueden ser objeto de supresión y se

buscan el venteo por sí solas, dañando lo que se ponga en su camino. Conviene aclarar que los daños producidos por las explosiones tienen como variable que los define la variación de presión llamada sobre presión.

3.2.3. Evaluación de riesgos

Para desarrollar los estudios de riesgos y los métodos que se utilizan para hacerlos, puede seguirse una secuencia evolutiva de los accidentes en la planta.

El origen del evento accidental suele estar en los fallos que producen en el equipo para proceso y control, así como en las operaciones. Debe incluirse el fallo humano de los operadores. La forma de medir este factor de riesgo es mediante las tasas de fallo (de los diferentes elementos de equipo y humanos que intervienen en el proceso) o de su complemento a 1 que se llama fiabilidad. Es importante tener en cuenta que éstas pueden variar sensiblemente con la vida de cada componente, que puede recorrer etapas sucesivas de rodaje, normalidad y envejecimiento.

3.2.3.1. Antecedentes

Los fallos mencionados como origen viene a dar lugar a accidentes que se resumen como:

- Emisiones (tóxicas y/o inflamables)
- Incendios
- Explosiones con / sin proyección de proyectiles

Los accidentes se caracterizan por:

- 1. Una frecuencia probabilística en el origen (FPo) que miden la probabilidad en que se produzcan. Estos FPo, pueden establecerse a partir de las estructuras (concomitancia, secuencia, etc.) y de los valores de las tasas de fallos que caracterizan al origen (equipo y operaciones) del accidente que se ha considerado antes.
- Unas intensidades en el origen (Io) en términos de las variables que caracterizan a los accidentes:
 - Emisión tóxica y/o inflamable: concentración.
 - Incendios: tipo y flujo radiante.
 - Explosión: sobre presión súbita.
 - Projectiles: impulso mecánico específico en la explosión originadora.

Con las dos variables, FPo y la intensidad en el origen considerada como medida de la severidad, se podrían establecer unos valores de riesgo en el origen, donde algunas veces les toman poco interés. Los efectos dañinos de los accidentes citados (concentración tóxica y/o inflamable, radiación térmica, sobre presión y/o proyectiles) se transmiten en el espacio que rodea al origen del accidente, dentro y fuera de los límites de batería de la planta químico-industrial que contiene el origen del accidente.

Cuando ocurre el accidente la transmisión supone una dispersión, alcance y atenuación con la distancia. Esto corresponde a una forma de la protección pasiva. La atenuación de los efectos con la distancia se cuantifica mediante los modelos de dispersión.

Los modelos pueden tener en cuenta las frecuencias probabilísticas meteorológicas (FPM) que corresponden a los factores meteorológicos

(viento/calma, lluvia, inversión térmica) que pueden afectar a la dispersión: sobre todo en lo referente a concentraciones tóxicas y/o inflamables, formas de las nubes de fuego, etc.)

Los efectos citados alcanzan y causan daños a los sujetos pacientes (personas, bienes o medio ambiente) que pueden encontrarse dentro de la zona de influencia (a distancias variables) del accidente.

3.2.3.2. Riesgos que se consideran en los estudios

- Reacciones químicas indeseables y/o incontroladas:
 - Entre reactantes y/o productos presentes en el proceso
 - Entre reactantes o productos y materiales de construcción o rellenos de los elementos de equipo.
 - Como fuente de fugas, derrames, incendios y explosiones

- Fugas de gases y derrames de líquidos:
 - Como fuentes de emisiones tóxicas
 - Como origen de incendios y/o explosiones

- Incendios:
 - Incendios confinados
 - Incendios no confinados:
 - Charcos, bolas de fuego, bleve, dardos y con reboso

- Explosiones:
 - Explosiones confinadas y no confinadas
 - Emisión de proyectiles y bleve

Tabla XXIV: **Actividades afectadas**

Actividad	Incendios		Explosiones		Total	
	Número	% sobre total	Número	% sobre total	Número	% sobre total
Urbana:	118	66,2	11	9,7	129	44,3
Viviendas	8	4,5	8	7,1	16	5,4
Hospitales	17	9,5	-	-	17	5,8
Escuelas	34	3,9	2	1,8	9	3,1
Hoteles	33	19,2	-	-	34	11,8
Recreo	9	18,5	-	-	33	11,3
Comercios	2	5,0	1	0,9	10	3,5
Oficinas	3	1,2	-	-	2	0,7
Prisiones	5	1,7	-	-	3	1,0
Resto	7	2,8	-	-	5	1,7
Rural-Forestal	5	2,8	-	-	5	1,7
Rural	5	2,8	-	-	5	1,7
Transporte	16	9,0	14	12,4	30	10,3
Naval	9	5,0	7	6,2	16	5,5
Carretera	3	1,7	1	0,9	4	1,4
Ferrocarril	4	2,3	5	4,4	9	3,1
Aéreo	-	-	1	0,9	1	0,3
Industrial	39	22,0	88	77,9	127	43,6
Minería	10	5,6	41	36,3	51	17,6
Química	8	4,5	20	17,6	28	9,6
Militar	1	0,6	13	11,5	13	4,8
Resto	20	11,2	14	12,4	34	11,7
Total	178	100,0	113	100,0	291	100,0

Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 14.

Tabla XXV. Por el lugar de origen

Lugar de origen	Frecuencia (%)
- Almacenamiento <ul style="list-style-type: none"> • Almacén o lugar abierto, 27 • Tanques, 15 	42
- Escapes <ul style="list-style-type: none"> • De tuberías rotas, 19 • De acoplamientos, collarines, juntas, 8 • De equipo eléctrico, 8 • Sin especificar, 2,5 	37,5
- Reactor o mezclador	5
- Secadero de vapor	2,5
- Cabinas de pulverización y vaporización	1
- Torres de refrigeración	1
- No informados	11

Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 15.

Tabla XXVI. Material incendiado inicialmente

Material incendiado inicialmente	Frecuencia (%)
Clasificación por el <i>estado físico</i> <ul style="list-style-type: none"> • Gas • Vapor • Líquido • Sólido • Desconocido 	13 20 25 29 13
Clasificación por el <i>material</i> <ul style="list-style-type: none"> • Hidrocarburos <ul style="list-style-type: none"> - Gas, 4 - Líquido/vapor, 23 - Sólido, 2,5 • Otros productos orgánicos <ul style="list-style-type: none"> - Líquido/vapor, 20 - Sólido, 9 - Sólidos celulósicos, 8 - Hidrógeno, 9 - Acero, 2,5 - Azufre, 1 - Desconocido, 21 	29,5 70,5

Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 15.

Tabla XXVII. Distribución del riesgo en una instalación

a) Área para carga y descarga de cisternas: 94,9 % del riesgo total (mayor frecuencia de incidencias).
b) Área de almacenamiento: 4,6 % del riesgo total (mayor severidad de las incidencias).
c) Área para carga y descarga de buques: 0,5 % del riesgo total.

Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 16.

Tabla XXVIII. Distribución de causas de accidentes en área de almacenamiento

Causas inmediatas	Campo de prevención
a) Errores de operación: 21 % $\left\{ \begin{array}{l} 3/4 \text{ en operaciones} \\ 1/4 \text{ en mantenimiento} \end{array} \right.$	Seguridad en las operaciones – Información – Adiestramiento – Motivación
b) Procedimientos erróneos: 19 %	Seguridad en diseño – Normas y manuales – Actualización
c) Fallos de equipos: 18 %	Seguridad-mantenimiento Seguridad en las operaciones – Operación conforme al diseño
d) Errores de diseño: 3 %	Seguridad en diseño – Reglamentos, códigos y normas – Revisión y actualización
e) Varias desconocidas: 22 %	– Investigación para reasignar si es posible
f) Agresión meteorológica: 17 % (predomina la caída de rayos)	– Pararrayos – Puesta a tierra del equipo

Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 16.

3.2.3.3. Consideraciones relativas al riesgo de incendio

Quando se emiten gases o vapores inflamables a la atmósfera es

inevitable que se formen mezclas de composición incluida dentro de los límites de inflamación (mezclas inflamables), más abajo del punto de emisión. Ello es consecuencia de la mezcla de la emisión con el aire. Si se produce mezcla inflamable (al nivel del suelo o de otros sitios donde pueda haber una fuente de ignición) hay peligro de incendio con daños a personas o instalaciones. El que esto no ocurra depende de la eficacia con que se mezcle la emisión con el aire, diluyéndose esa por debajo del límite inferior de inflamación (condición segura). Una evaluación completa de ello requiere la consideración de:

- Velocidad y temperatura del gas o vapor emitido
- Condiciones y peso molecular de la emisión
- Condiciones meteorológicas
- Topografía y presencia de estructuras cercanas al punto de emisión
- Elaboración del punto de emisión con respecto al nivel del suelo

Una velocidad elevada de emisión, favorece una dispersión rápida originada por el mezclado turbulento que se produce al disiparse la energía del chorro emitido. Cuando se trata de emisiones controladas (venteos, chimeneas, etc.) se toman las medidas siguientes:

- Diluir hasta un contenido de componentes inflamables inferior o igual al 3%.
- Situar los puntos de emisión más altos y alejados ($d > 120$ diámetro del tubo de emisión) de la fuente de ignición.

Esto con el fin de asegurar mezclas por debajo del límite inferior de inflamabilidad.

3.2.3.3.1. Grado de riesgo

Para establecer los grados de riesgo de los sectores de incendio según el valor que alcance la carga de fuego corregida. Para efectos de la aplicación de ciertos medios para la distancia contra incendio (DCI), se consideran los grados siguientes:

- De riesgo ligero. Es aquel que presenta una carga de fuerza inferior a 100 Mcal/ m²
- De riesgo ordinario. Es aquel que presenta una carga de fuego comprendida entre 100 y 300 Mcal / m²
- De riesgo extra. Es aquel que presenta una carga de fuego superior a 300 Mcal / m²

Tabla XXIX. **Grado de riesgo**

Causas inmediatas	Campo de prevención
a) Errores de operación: 21 % $\left\{ \begin{array}{l} 3/4 \text{ en operaciones} \\ 1/4 \text{ en mantenimiento} \end{array} \right.$	Seguridad en las operaciones – Información – Adiestramiento – Motivación
b) Procedimientos erróneos: 19 %	Seguridad en diseño – Normas y manuales – Actualización
c) Fallos de equipos: 18 %	Seguridad-mantenimiento Seguridad en las operaciones – Operación conforme al diseño
d) Errores de diseño: 3 %	Seguridad en diseño – Reglamentos, códigos y normas – Revisión y actualización
e) Varias desconocidas: 22 %	– Investigación para reasignar si es posible
f) Agresión meteorológica: 17 % (predomina la caída de rayos)	– Pararrayos – Puesta a tierra del equipo

Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 522.

A partir del grado de riesgo de un sector dado se pueden establecer para el mismo distintos requerimientos:

- Dotación de medios para DCI
- Superficie máxima y resistencia mínima al fuego (RF en minutos) exigidas para las separaciones entre sectores de incendio.
- Distancias máximas de escape

3.2.3.4. Emisiones de líquidos y nieblas

Los líquidos emitidos a la atmósfera tienden a decantar hacia el suelo. Cuando tales líquidos incluyen componentes volátiles puede originarse una atmósfera inflamable. Cuando se emiten cantidades apreciables de líquidos inflamables a la atmósfera el riesgo de fuego o explosión puede ser grande. Por ello, la evacuación de líquidos procedentes de sistemas de alivio debe hacerse de forma controlada.

3.2.3.5. Consideraciones relativas al riesgo de explosiones

Cuando se trata de una explosión especialmente dramática, debido a sus consecuencias, se le llama BLEVE, que en inglés significa Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion, éste término se ha aceptado internacionalmente en el mundo de la seguridad industrial. Este término se utilizó cuando se sabía poco acerca del fenómeno, la evolución incendiaria y explosiva posterior que tiene lugar cuando están implicados líquidos inflamables.

Conviene decir como una separación del fenómeno BLEVE de su evolución posterior. Basta con aducir que el BLEVE puede producirse con agua y otros líquidos no inflamables.

Cuando corresponde a la explosión mecánica de un recipiente por evaporación súbita y masiva (con aumento de volumen de unos cientos de veces) sobre calentado (situación de equilibrio líquido-vapor meta estable) al sufrir una disminución brusca de su presión y dando lugar a una onda de sobre presión muy potente. Existen descripciones muy buenas del BLEVE pero las condiciones para que se dé este tipo de explosión son:

- Líquido (en equilibrio con su vapor) a presión superior a la atmósfera y a temperatura superior a la que corresponde al equilibrio: líquido-vapor a presión atmosférica.
- Despresurización brusca. Puede ser por fallo del recipiente (a causa del debilitamiento producido por un incendio exterior, a causa de impacto, etc.), por apertura de un disco de ruptura o válvula de seguridad con tara o caudal (excesivo) erróneos; por dilatación de fase líquida única.
- Que el grado de sobrecalentamiento en la situación despresurizada (suele ser presión atmosférica) sea suficiente para que se produzca el fenómeno. Si el sobre calentamiento no es suficiente se producirá una evaporación importante, pero no el fenómeno BLEVE

Las consecuencias de la explosión BLEVE, por efecto de su golpe potentísimo de sobre presión, son:

- Rotura del recipiente en pedazos que se proyectan en el espacio a distancias de hasta centenares de metros. Estos proyectiles pueden arrastrar consigo partes de líquido.

- Proyección expansiva de vapor que arrastra partículas de líquido en forma de niebla.

3.2.3.6. Consideraciones relativas a los riesgos del proceso

Dentro de las consideraciones de riesgo, la clasificación es:

- Moderado.
- Medio.
- Alto.

Se considera para tan clasificación de acuerdo a criterios comunes que se dan en la industria:

- Moderado:
 - Riesgo de explosión: limitado
 - Riesgo de incendio: moderado
 - Reacciones endotérmicas
 - Operaciones sin reacción: destilación, mezclado de líquidos inflamables, etc.
 - Reacciones exotérmicas con líquidos y gases no inflamables
- Medio:
 - riesgo de explosión apreciable más riesgo de incendio moderado.
 - Reacciones suavemente exotérmicas.
- Alto:
 - Alto riesgo de explosión más riesgo de incendio moderado o alto.
 - Reacciones muy exotérmicas.

- Reacciones que pueden descontrolarse.
- Manipulación de productos con alto riesgo.

3.2.3.6.1. Documentación

Se debe contar con la documentación necesaria la cual posea en su contenido el detalle de las características de las sustancias. Las propiedades físicas y químicas de sustancias que se manejan en la planta

- Cloro

Propiedades:

A condiciones normales de temperatura y presión (25 °C y 1 atmósfera de presión) se presenta en forma de un gas amarillo-verdoso líquido, presenta un color ambar claro. El cloro presenta un olor sofocante, irritante y penetrante.

Temperatura de ebullición a presión atmosférica	- 34.1 °C
Presión de vapor a 20 °C	6.7 Bar (Abs)
Densidad relativa al agua (en forma líquida) a 20 °C	1.41
Densidad relativa al agua (en forma de gas) a 20 °C	2.5
Solubilidad en agua a 20 °C y 1 atmósfera de presión	- 7.3 Gr/Lt
Volumen liberado de gas a una atmósfera de presión y °C por una tonelada de cloro líquido	315 m ³
Volumen de una tonelada de cloro líquido saturado a 20 °C	- 0.709 m ³

Especificaciones:

Cloro (Cl ₂)	99.5 % min
Humedad	< 150 ppm

Residuo N.V. < 50 ppm

Toxicidad:

Bajas concentraciones de cloro causan irritación en la garganta, dificultad respiratoria, irritación en los ojos y en concentraciones altas pueden ocasionar la muerte. Los efectos varían de acuerdo al grado de exposición. Los efectos son:

- | | |
|-------------|--|
| 1 ppm | Detectable después de un período de exposición. Es recomendado como el nivel máximo para condiciones de trabajo normales. |
| 3 -4 ppm | Detectable inmediatamente; una exposición prolongada causa irritación en la garganta, nariz y ojos. |
| 10 – 20 ppm | La irritación se produce rápidamente. |
| 30 – 40 ppm | Con una aspiración ya se produce tos.
Esta concentración se detecta fácilmente por el humo blanco cuando se le acerca una botella que contenga amonio. |
| 100 ppm | Peligroso y posiblemente después de pocas aspiraciones ocasione la muerte por edema pulmonar.
A esta concentración el cloro se observa como una nube verdosa. |

- Sosa cáustica Líquida

Datos generales de la sustancia química:

Nombre comercial	sosa cáustica
líquida	
Nombre químico	hidróxido de sodio
Familia química	hidróxidos alcalinos
Clasificación	clase 8, corrosivo
Sinónimo	legia, sosa cáustica
Otros dato	soluble en: etanol, metanol y alicerol insoluble en: acetona y dietil-eter

Propiedades fisicoquímicas:

Temperatura de ebullición (°C) sol. 50 % °C	140
Temperatura de fusión (°C) sol. 50 %	12 °C
Temperatura de inflamación (°C)	no aplica
Temperatura de auto ignición (°C)	no aplica
Densidad relativa (sol. 50 %)	liq. = 1.53
Densidad de vapor (aire = 1)	no aplica
Peso molecular	40
Solubridad en agua	100 %
Presión de vapor (mm-Hg 20 °C)	1.5
Estado físico, color y olor	líquido claro transparente, inoloro
Otros datos	PH 12 sol. 0.05 % 13 sol. 0.5 n % 14 sol. 5 %

Efectos a la salud Por exposición aguda

- Ingestión oral (accidental). Causa quemaduras químicas a los tejidos del esófago y en algunos casos causa contracciones. Puede causar dolor severo, quemaduras de la boca, garganta y esófago. Puede provocar vómito, diarrea *shock* y posiblemente la muerte.
- Inhalación. Los aerosoles pueden causar severas irritaciones del tracto respiratorio de la edema pulmonar. Las neblinas calientes en espacios cerrados causan tensión en el pecho, diarrea y tos.
- Piel (contacto y absorción). Puede causar quemaduras profundas y ulceraciones. La solución al 4 % destruye las capas de la piel en 15 minutos.
- Ojos. La severidad de las lesiones se incrementa con la concentración de la solución, el tiempo de exposición y la velocidad de la penetración en los ojos, el daño puede ser desde severa irritación, ligera cicatrización, hasta desintegración de tejidos, ulceraciones, ampollas y ceguera.
- Hipoclorito de sodio

Datos generales de la sustancia química:

Nombre comercial	hipoclorito de sodio
Nombre químico	hipoclorito de sodio
Familia química	oxisales
Clasificación	clase 8, liq. corrosivo
Sinónimo	cloro blanqueador
Otro datos	Na O Cl

Propiedades fisicoquímicas:

Temperatura de ebullición (°C)	40 °C inicia descomp.
Temperatura de fusión (°C) (sol. 5 %)	- 6 °C
Temperatura de inflamación (°C)	no aplica
Temperatura de auto ignición (°C)	no aplica
Densidad relativa (140 gpl) sol. al 14 %	1.21
Densidad de vapor (aire = 1)	no aplica
Peso molecular	74.45
Solubilidad en agua	completamente
Velocidad de evaporación	no aplica
% de la volatilidad	variable
Presión de vapor (mm-Hg 25 °C)	p.v. agua más p.v. prod. De descomposición
Límites de inflamabilidad o explosividad	lie: N.A. lse: N.A
Estado físico, color y olor	liq. Claro amarillo-verdoso de olor irritante con el cloro
Otros datos	reacciona con muchos compuestos orgánicos PH de aprox. 12

Efectos a la salud: por exposición aguda:

- Ingestión oral (accidental). El blanqueador ingerido causa irritación, dolor e inflamación de la boca y estómago, vómito shock, delirio coma y hasta la muerte.
- Inhalación. Irrita las membranas mucosas del sistema respiratorio.

- Piel (contacto y absorción). Los vapores y soluciones causan irritación quemaduras a la piel (no se absorben por la piel).

Ojos. Una solución débil (< 6 %) causa irritación leve y de pronta recuperación, una solución (> 6 %) causa irritación grave y segura permanente. El agua de alberca debe tener máximo 1 ppm de Cl₂ PH = 7.2 para que no irrite los ojos.

- Ácido clorhídrico

Datos generales:

Nombre comercial

ácido clorhídrico (HCl)

Descripción física:

Es una solución acuosa, pungente, fumante, clara, ligeramente amarilla, de olor penetrante e irritante. Altamente reactivo. Ataca la mayoría de los metales produciendo hidrógeno.

Ingredientes principales:

Solución obtenida por combustión catalítica del cloro gaseoso en presencia de hidrógeno. Después de este proceso de síntesis, el ácido clorhídrico gaseoso resultante se absorbe en agua, hasta obtener la concentración deseada.

Características fisicoquímicas:

PROPIEDAD	ESPECIFICACION
Concentración HCl	30.0 % en peso min.
Sustancias oxidantes como Cl ₂	0.005 % en peso max.
Densidad a 20 °C	1.15 g/ml min.

Efectos de la salud:

Es altamente tóxico. La concentración máxima permisible es de 5 ppm en el aire. Por contacto puede producir lesiones oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas.

3.2.4. Sistemas de protección

Su objetivo es evitar la lesión y muerte por accidente, así como la reducción de los costos operativos de producción.

3.2.4.1. Medios humanos

Se les determina de esta forma a las medidas que el humano utiliza para prevenir cualquier accidente o riesgo en el desarrollo de las actividades.

3.2.4.1.1. Protección para la respiración en el uso de cloro

Utilice únicamente el equipo protector para la respiración aprobado para el manejo de cloro (por NIOSH de USA). Mantenga el equipo en estricta conformidad con las instrucciones del fabricante.

Todo trabajador que tome parte en el manejo del cloro deberá estar provisto de un respirador de huida aprobado. Los empleados deben estar adiestrados y se les debe examinar periódicamente sobre el uso y las limitaciones del equipo. Se deberá disponer de un aparato de respiración autónoma, apropiadamente guardado fuera de zonas de riesgo y suficientemente a la mano. La reparación de cualquier escape de cloro deberá ser realizado por lo menos dos personas que lleven el equipo para la respiración.

Inspeccione todo aquel equipo a intervalos regulares y después de cada uso. El equipo defectuoso es peor que no tenerlo porque se confiará del mismo durante las emergencias.

3.2.4.1.2. Protección especial para el uso de sosa cáustica

- Equipo de protección personal:
 - Protección respiratoria. Usar un respirador con cartucho químico para vapores alcalinos. Cuando se combate un incendio usar equipo de aire autónomo y equipo contra químicos (el traje profesional de bomberos no es adecuado en incendios con este material).
 - Protección para las manos. Utilice guantes de hule (neopreno) o de PVC.
 - Protección para los ojos. Goggles, careta facial.
 - Otro equipo de protección personal. Utilice traje antiácido completo (encapsulado) para reparaciones de fuga de sosa sólida o líquida.

- Ventilación: los sistemas de extracción deben estar diseñados de tal manera que provean continuamente de aire fresco para las áreas donde se maneja este producto.

3.2.4.1.3. Protección especial para el uso de hipoclorito de sodio

- Equipo de protección personal:
 - Protección respiratoria. Usar un respirador con cartucho químico para gases de cloro. Cuando se combate un incendio usar equipo de aire.
 - Protección para las manos. Utilice guantes de hule (neopreno) o de PVC.
 - Protección para los ojos. Goggles, careta facial.
 - Otro equipo de protección personal. Utilice traje encapsulado (material butilo) para reparaciones de fuga mayores.
- Ventilación: Los sistemas de ventilación deben ser de la misma forma que el manejo de sosa cáustica.

3.2.4.1.4. Protección especial para el uso de ácido clorhídrico

Para todas las operaciones de manejo de ácido clorhídrico se recomienda:

- Utilizar equipo de protección personal adecuado: guantes largos y botas altas de caucho, pantalón y chaqueta de caucho, gafas de seguridad, protector facial y respirador con filtro adecuado.

- El transporte debe realizarse en tanques de fibra de vidrio, polietilenos o acero recubiertos con caucho.
- Ventilación local exhaustiva, sin calentamiento del producto.
- Dentro del área de almacenamiento deben existir previsiones de neutralización rápida: soluciones básicas y acondicionador de vertimientos. Las instalaciones civiles, eléctricas, mecánicas y otras, deberán estar protegidas contra la acción corrosiva del ácido clorhídrico, además proveer el área de suficientes y adecuadas tomas de agua a presión.

3.2.4.2. Medios técnicos

Es el conjunto de elementos (personas, cosas, conocimientos, procedimientos, recursos, y/o acciones, que facilitan lograr o conseguir lo que se intente con un fin determinado

3.2.4.2.1. Medios de protección pasiva

Se llaman así a los medios de protección que no dependen de activación mediante acciones manuales o automáticas. Dentro de estos medios están:

- La distancia como protección: la base de este medio de protección pasiva está en el hecho de que los efectos nocivos de los accidentes:
 - Energía radiante desde una llama.
 - Energía y presión desde una explosión.
 - Concentración (salvando el efecto del viento).

También se debe determinar la distancia a guardar entre distintos elementos de las instalaciones, así como entre éstos y los lugares habitados o frecuentados, éstos son:

- Evitar la ignición de mezclas gaseosas inflamables al contacto de éstas con fuegos abiertos (hornos, calderas, talleres, fumadores, etc.). Este es el único objetivo de tipo preventivo.
 - Evitar la propagación de un fuego o explosión eventuales desde unas zonas a otras o desde unos elementos de equipo a otros.
 - Evitar daños a personas o a propiedades ajenas.
- Medios para contención de derrames: cubetos y bandejas: cuando falla un recipiente que contenga líquidos peligrosos se produce un derrame cuya importancia depende de la capacidad. La capacidad del recipiente y las cantidades que fluyen tienen que ver mucho. Estas últimas deben neutralizarse, cerrando las corrientes de proceso correspondientes mediante válvulas de accionamiento, manual o automático, situado en el lugar seguro. El fluido derramado debe recogerse y más aún, si está incendiado. Para ello se disponen, debajo y alrededor, cubetos y bandejas de recogida.

Cuando es conveniente se puede disponer una bandeja para recogida debajo de los depósitos y conducir los derrames a un cubeto separado o distante mediante tubería por gravedad. Como se suele considerar un solo siniestro en un parque de tanques, cabe la posibilidad de unir varias agrupaciones de éstos a un solo cubeto separado que tendrá capacidad correspondiente a la agrupación de mayor capacidad. Los materiales para la construcción de cubetos suelen ser: tierra compacta e impermeabilizada, hormigón o ladrillo.

- Medios para conducción de derrames: drenajes y balsas: los líquidos recogidos en balsas y bandejas, así como en otras superficies e incluyendo las aguas de lluvia, deben conducirse a un lugar seguro donde

puedan ser tratados y/o extinguidos de manera adecuada. Ello se hace mediante zanjas o cunetas (drenajes abiertos) o mediante tuberías (drenajes cerrados).

Es importante ver la capacidad que tienen los drenajes abiertos para transmitir incendios. Para este caso, suele darse lugar a sistemas separados, los líquidos a evacuar son:

- Agua de lluvia con contaminación nula o ligera: drenaje abierto o cerrado.
- Aguas con líquidos de proceso y extinción: drenaje cerrado.
- Líquidos especiales que requieren segregación total o un pretratamiento.

En oportunidades se recogen en tanques, fijos o móviles, al efecto.

- Muros protectores: el empleo de muros para proteger contra los efectos de propagación de incendios y explosiones tiene la utilidad de poder hacer disminuir las distancias consideradas. Por el contrario, pueden presentar el inconveniente de dificultar el acceso y las acciones encaminadas a la distancia contra incendio (DCI) activa.

La resistencia de los muros ante el fuego se establece en términos RF (resistencia al fuego). En el diseño se impone una RF-240 como mínimo, para que puedan eludirse los requerimientos de distancia superiores hasta un mínimo de 7.6 metros.

La resistencia frente a las explosiones se establece en términos de resistencia a unas presiones (4.8, 69 KPa, etc.) durante un tiempo (10 mseg.) determinado.

- Aislamiento térmico o ignifugación: es fácil ver la importancia que se tiene de proteger contra fuego y explosiones los elementos que soportan recipientes y tuberías con contenidos líquidos o gaseosos que, de fugar, darían lugar al agravamiento de un accidente eventual.

También es importante proteger los edificios donde se aloja el control de la planta y los que son frecuentados por personas. En resumen, hay que proteger:

- Estructuras que soportan recipientes y tuberías
- Faldones que soportan columnas y recipientes
- Salas de control
- Edificios de oficina, servicios al personal, etc.

Los materiales empleados para construir dichos elementos incluyen:

- Hormigón armado: buen comportamiento frente al fuego y las explosiones.
- Ladrillos: buen comportamiento ante el fuego pero malo ante explosiones.
- Acero: requiere protección contra el fuego

En el caso de estructuras y faldones metálicos se trata de conseguir que el material mantenga sus propiedades mecánicas durante el tiempo necesario para extinguir el fuego. Ello se consigue poniendo una barrera térmica (calorifugado) que origine un gradiente de temperatura entre el fuego y el elemento estructural metálico.

Es frecuente la confusión terminológica entre calorifugado, que es lo que se ha estado tratando e ignifugado. El ignifugado, es el tratamiento de

materiales poco resistentes a la propia combustión y a los efectos de la misma, mediante impregnación o recubrimientos adecuados. Es típico el caso de la madera como objeto de ignifugado. El ignifugado tiene pocas aplicaciones en las plantas químico-industrial.

El calorifugado, puede aplicarse de varias formas:

- Placas, paneles y coquillas aislantes
- Pastas o morteros aislantes: con armadura de malla con espesor > 3 cms.
- Pinturas intumescentes: se inchan por la acción de calor generado así la capa aislante.

Y de acuerdo con varios procedimientos:

- Montaje (placas, paneles y coquillas): encolado, atornillado, etc.
 - Aplicación manual con paletas y llana (enfoscado)
 - Proyección
 - Pintado
-
- Ventilación: para este caso, se debe mantener la concentración de sustancias inflamables en recintos cerrados o semicerrados por debajo del límite inferior de inflamabilidad. Según normativas la concentración no debe ser superior al 25 % de dicho límite o alternativamente, $0.3 \text{ m}^3 / \text{min m}^2$ (de suelo) como mínimo. Cuando se diseña ventilación destinada a la protección personal, el sistema resultante cubre sobradamente las necesidades de protección contra incendios. Ello se debe a que la concentración dañina a las personas es muy inferior a los límites inferiores de inflamabilidad.

- Vías de acceso y escape: esto se trata de las calles y pasillos, sobre el suelo o elevados (pasarelas) que permiten en caso de siniestro (incendio, emisión, etc.):
 - El escape o evacuación de los operarios presentes en la planta hasta alcanzar lugar seguro.
 - El acercamiento de personas y equipos, vehículos inclusive, para la distancia contra incendio activa, así como la aplicación de los medios para ésta forma razonablemente eficaz.

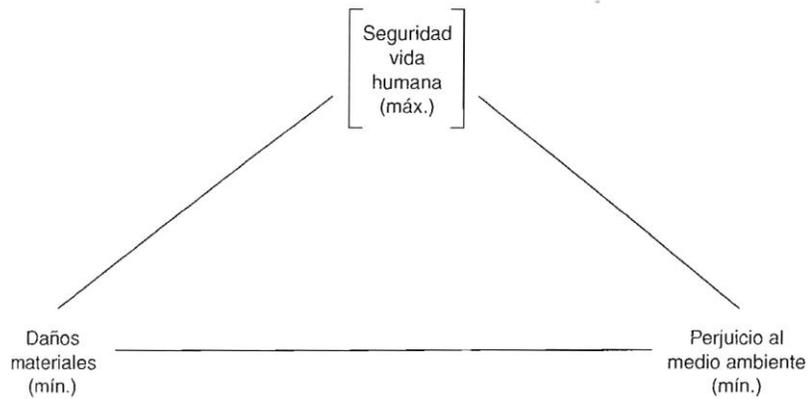
Hay que considerar, los objetivos deseados:

- Suele establecerse el criterio de que las vías de escape dispongan de las direcciones alternativas para el mismo (dos caminos de escapes independientes).
- Hay que establecer las pistas que debe haber alrededor de los cubetos que contienen tanques para almacenamiento y también las que deben haber entre y alrededor de las unidades.

3.2.4.2.2. Medios de protección contra incendios

Los sistemas para la defensa contra incendios representa la herramienta destinada y minimizar los daños, una vez que se ha producido el siniestro por haber fallado las medidas preventivas. Por ello, se requiere que el diseño con lleve una atención adecuada: de su eficiencia dependen vidas y bienes en situaciones que pueden ser de riesgo catastrófico.

Figura 89. **Triángulo de la defensa contra incendios**



Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 511.

- Clasificación: los sistemas para la defensa contra incendio, se pueden clasificar bajo tres puntos de vista: según la función, según el medio extintor y según la disposición y aplicación.
- Acciones extintoras: cuando se tiene conocimiento sobre la fisicoquímica del fuego y explosiones, la extinción y los medios, las acciones extintoras de los distintos agentes pueden resumirse así:
 - Enfriamiento. Se trata de eliminar calor y de bajar la temperatura de manera tal que se extinga la ignición continuada del combustible aún no quemado. Cuanto mayor sea el calor específico y el calor latente de vaporización del agente extintor aplicado, mayor será la eficacia extintora del mismo.
 - Eliminación o dilución del comburente: sofocación. Se trata de eliminar o diluir el comburente, normalmente oxígeno, mediante el desplazamiento del aire que esté en contacto con el combustible

ardiente y la evitación del acceso de aire nuevo.

- Eliminación o dilución del combustible. Se trata de disminuir o diluir el combustible para detener el incendio o evitar su propagación. Esto incluye acciones como: el cierre de válvulas para cortar el acceso de líquidos y gases al incendio; la retirada de sólidos aún no quemados desde un almacén incendiado, etc.
- Inhibición química de la llama. Se trata aquí de aportar sustancias terminadoras de las reacciones en cadena por eliminación (combinación) de los radicales libres. En algunos casos se habla de acción anticatalítica.
- Extinción y protección mediante agua: las acciones del agua como medio para la distancia contra incendio son, por orden de importancia, las siguientes:
 - Enfriamiento por absorción de calor sensible (calentamiento) y de calor latente (evaporización).
 - Sofocación o desplazamiento del oxígeno del aire por el vapor producido.
 - Emulsión y/o dilución del combustible.

El agua puede aplicarse a:

- Al propio incendio, para extinguirlo.
- Al equipo y zonas adyacentes al incendio para enfriarlos y evitar la propagación de éste.

Se puede mejorar las propiedades humectantes del agua mediante la adición de tensoactivos.

En los sistemas fijos para aplicación del agua se dan, para un mismo fuego, consumos relativos tales como:

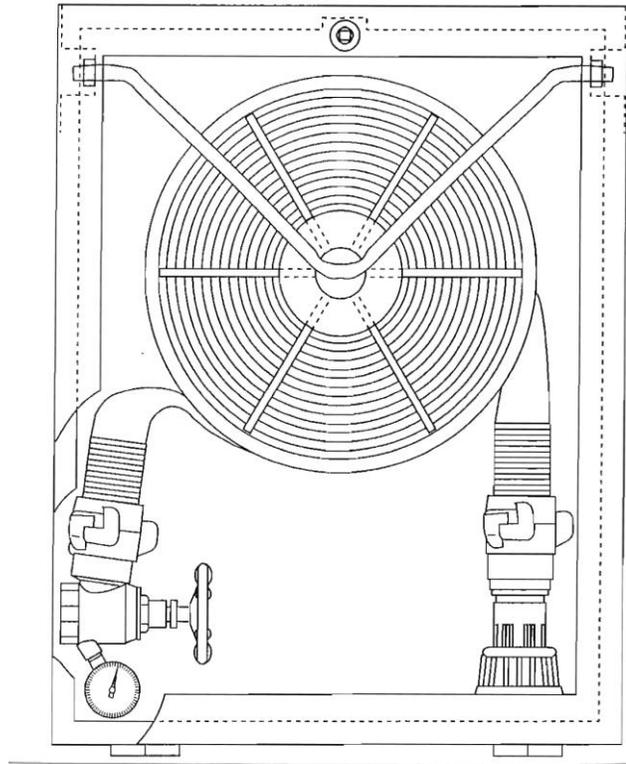
- rociado: 12.5 l / min. m²
 - pulverización: 10 l / min. m²
 - nebulización normal: 5 l / min. m²
 - nebulización microgota (20 – 200 micras): 3 l / min. m²
- Bocas de incendio equipadas

En una instalación de lucha contra incendios prevista para una primera intervención en caso de incendio y constituida por los siguiente elementos:

- boquilla
- lanza
- manguera
- racor
- válvula
- manómetro

Todos estos elementos habrán de encontrarse debidamente acoplados entre sí, conectados permanentemente a una red de abastecimiento de agua, siempre en carga.

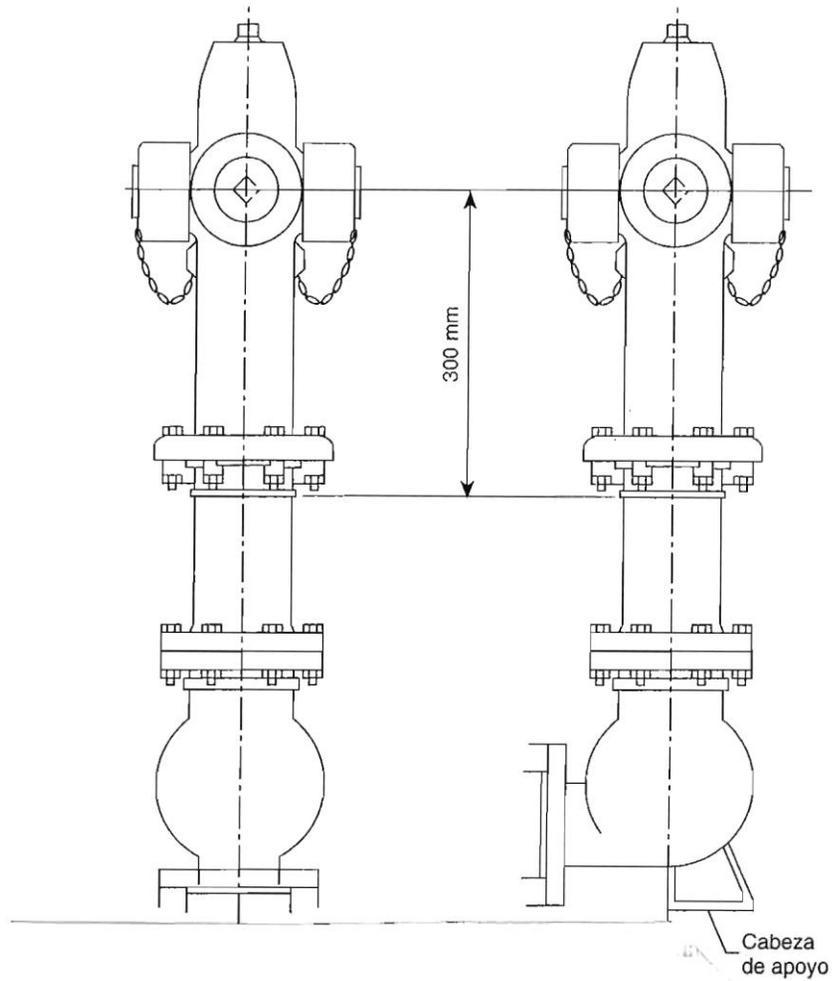
Figura 90. **Boca de incendio equipada**



Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 533.

- Columna hidrante exterior: este hidrante, es un dispositivo de lucha contra incendios constituido esencialmente por un conjunto de válvulas, cuerpo de columna y racores, cuya finalidad es el suministro de agua a mangueras o a monitores directamente acoplados a él, o bien a tanques o bombas de los servicios de extinción y que se encuentra situado en el exterior de la planta.

Figura 91. **Columna hidrante exterior**

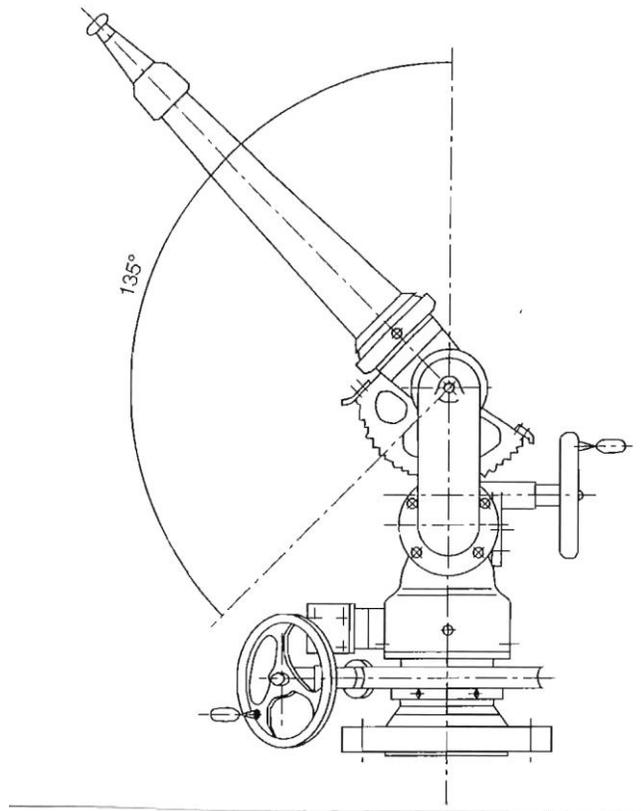


Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 534.

- Monitores fijos o cañones: Los dispensadores de agua (o espuma) para la distancia contra incendio. Son lanzas montadas sobre un estructura de soporte y conectadas permanentemente a la red para la distancia contra incendio. Los monitores fijos, pueden ser:
 -
 - No orientables: están dirigidas permanentemente hacia la zona a proteger.

- Orientables: pueden dirigirse a voluntad: automáticamente o manual.

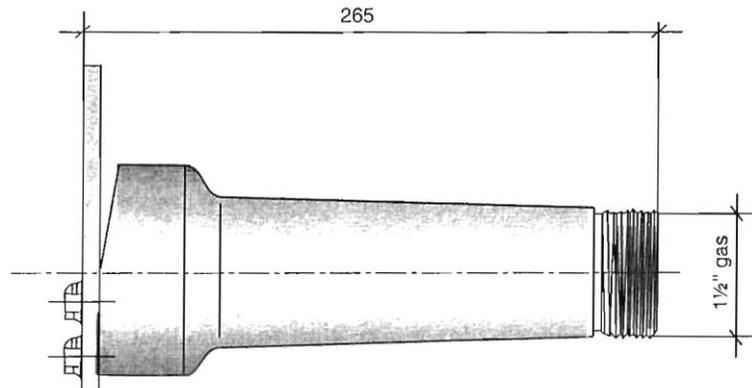
Figura 92. **Monitor fijo**



Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 535.

- Cortinas de agua: mediante tubos rasurados o boquillas con forma de ranura. Sirven para proteger, aislando de la radiación, edificios o aparatos muy sensibles.

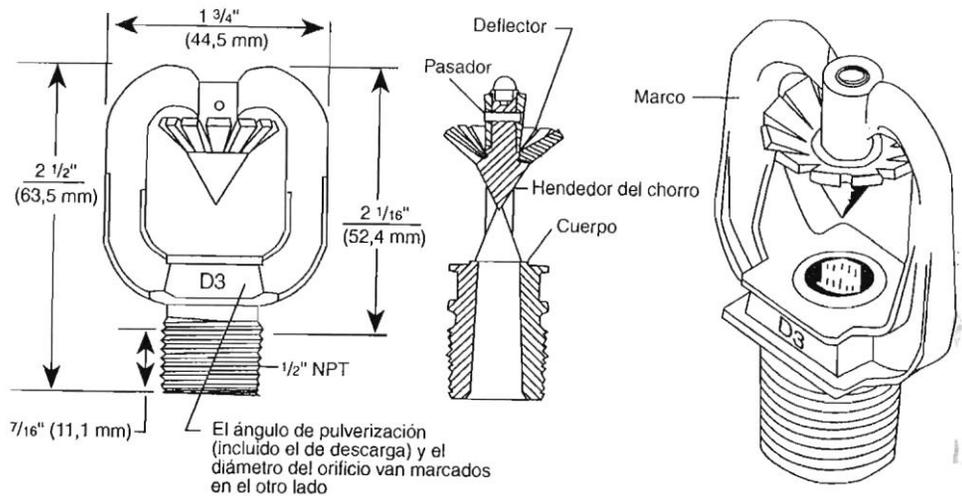
Figura 93. **Boquilla para aplicación de agua en cortina**



Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 537.

- Pulverización: mediante boquillas pulverizadoras, los sistemas de pulverización se caracterizan con respecto a los de rociado, por las siguientes características:
 - Distribución de los tamaños de gota más estrecha.
 - Proyección más dirigida en forma de cono con ángulo más o menos estrecho.
 - Tamaño de gotas menores.
 - Mayor velocidad de las gotas proyectadas por el pulverizador.
 - Presión mayor (mínimas de 1.4 bar en los sistemas de velocidad media y de 3.5 bar en los de velocidad alta).

Figura 94. **Boquilla para agua pulverizada a velocidad media**



Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 544.

- Extinción y protección mediante espumas: los sistemas de espuma pretenden conferir al agua, como agente para extinción y protección, mejores propiedades de humectación (tensión superficial baja), así como de compacidad (resistencia a la dispersión) y de poder sellante (aislamiento con respecto al aire). Estos dos últimos se consiguen aumentando la viscosidad.

Tipos de espumógenos y de espuma: según la forma de origen de la espuma se distinguen dos grupos de productos espumantes o espumógenos:

- Químicos: reacción entre una disolución acuosa de sulfato de aluminio (ácida) y otra de bicarbonato sódico (alcalina) (que contienen, además, estabilizadores proteínicos de la espuma). Espumante mediante el CO₂ que se origina de la reacción.

- Físicos o < mecánicos >: originan la espuma mediante mezcla con agua y aire.

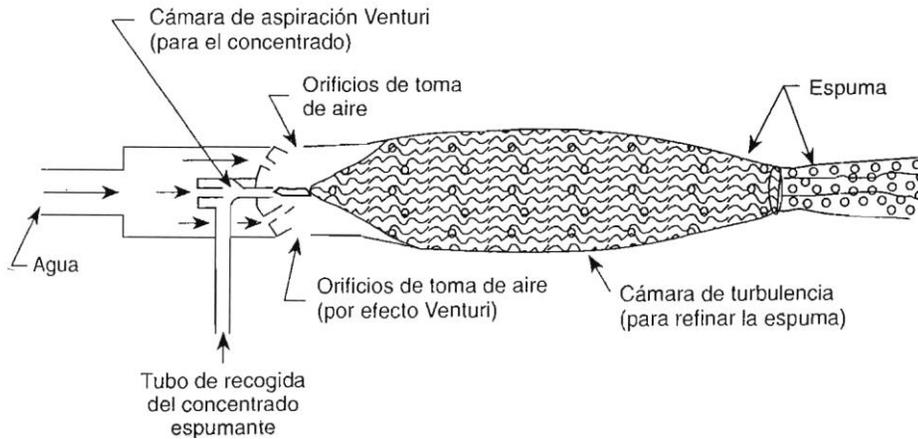
Preparación de la espuma: las espumas se consiguen mediante dos mezclas consecutivas:

- Dosificación. Agua más un agente espumante denominado espumógeno proporcionación o proporcionamiento en proporciones adecuadas. La mezcla se llama espumante.
- Espumación. La mezcla anterior (espumante) más aire para generar generación la espuma, también en proporciones adecuadas que dan lugar a tres tipos de espuma.

Un vez formada la espuma se produce su aplicación, éstas se resumen así:

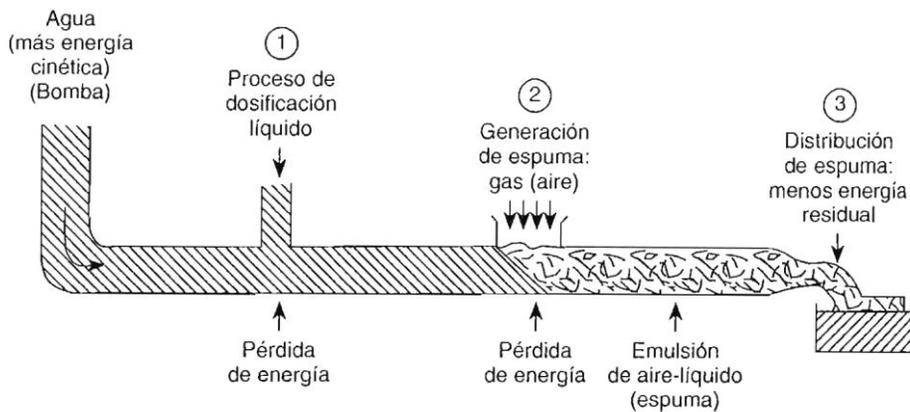
- Dosificación: en línea (por efecto ventura). Estos dosificadores pueden ser fijos o móviles y son adecuados para tanques para el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles; cargaderos de camiones cisternas y buques tanques; cubetos alrededor de tanques y de equipos de proceso. Requieren presión del agua superior a 8 kg / cm², (ver figura 95).
- A presión balanceada: el agua y el espumógeno se inyectan a la misma presión en el dosificador. El espumógeno puede ser presurizado mediante bomba dosificadora o mediante un depósito con diafragma impulsado (exprimido) por presión de agua exterior a este último, (ver figura 96).

Figura 95. **Dosificador (en línea) por inducción ventura**



Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 551.

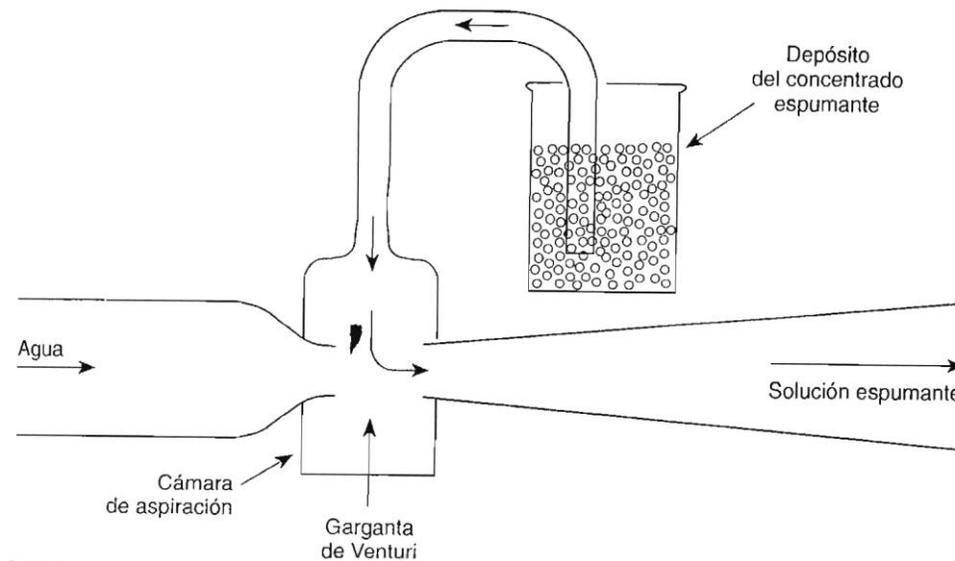
Figura 96. **Diagrama simplificado de flujo para generación de espuma con aire**



Fuente:.. STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 550.

- Espumación: generalmente vuelve a emplearse el efecto ventura para succionar aire dentro de la cámara de espumación y conseguir la agitación que se necesita para generar la espuma. En algunos casos se añade un ventilador para expulsar la espuma de la cámara.

Figura 97. **Sección longitudinal de un aparato para dosificación y espumación**



Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 551.

- Extinción y protección mediante gases: son muchos los gases que pueden emplearse en la distancia contra incendio. Se caracteriza por ser medio limpio (no deja residuos después de la extinción) y dieléctrico (no afecta a los equipos eléctricos ni a los electrónicos).

3.2.4.2.3. Medios de protección contra explosiones

Ahora se a considerado las formas de prevenir explosiones (sistema de venteo, inertización, protección contra incendios, etc.). Por eso, se da a conocer los medios disponibles para defender personas y bienes contra estos fenómenos. El enfoque técnico ante el peligro de explosiones puede dar lugar a acciones que se resumen:

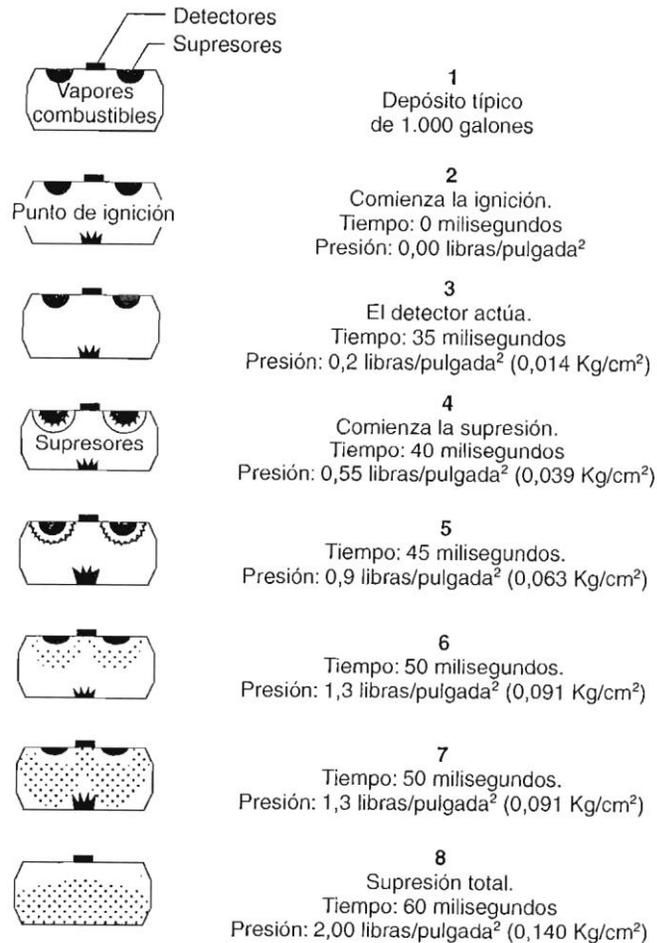
- Explosión deflagrante.
 - Prevenir la deflagración: mantener las reacciones químicas explosivas con concentraciones que están fuera de los límites de explosividad, si ello es posible.
 - Suprimir la deflagración en su iniciación.
 - Diseñar los recipientes de manera que puedan resistir la presión resultante de la deflagración: presión de diseño adecuada.
 - Ventear la deflagración.

- Explosión detonante:
 - Distancia como medio de protección pasiva; consideración del alcance.
 - Muros protectores como protección pasiva de elementos sensibles (salas de control, equipos críticos, etc.) de las instalaciones.

- Supresión de explosiones: se trata de aprovechar el tiempo muy breve (mseg.), que transcurre entre la iniciación de la deflagración y el desarrollo de presiones destructoras, para apagar la reacción explosiva, (ver figura 98). La supresión de deflagración se efectúa en tres etapas que deben sucederse con gran rapidez, éstas son:
 - Detección. La iniciación de una deflagración se detecta mediante el aumento de presión, o mejor, la velocidad de dicho aumento. Tal detección debe ser automática, muy rápida y capaz de discernir los efectos de una deflagración iniciada con respecto a variaciones de presión debidas al ambiente o al proceso que pueden darse normalmente. Para la detección de explosiones de polvo suelen emplearse sensores de presión. Para los de gases o vapores

pueden emplearse dichos sensores o detectores de radiación ultravioleta, que son más rápidos.

Figura 98. **Diagrama esquemático de la eliminación de una explosión**



Fuente: STORCH DE GRACIA, J. M. Manual de seguridad industrial. p. 578.

- o Activación del sistema supresor. La señal procedente del detector se analiza y si es el caso, da lugar al disparo del sistema supresor, a bloquear (con válvulas muy rápidas) parte de la instalación y a activar la parada de emergencia del proceso

- Supresión. Se trata de aplicar las acciones que se utilizan en la extinción de incendios: enfriamiento, inertización, sofocación y, sobre todo, inhibición de las reacciones en cadena propia de la combustión. El equipo supresor debe dispersar el agente supresor de manera homogénea en todo el recinto y finalmente dividido (niebla o polvo). Vuelve a ser crítica la velocidad de actuación. Por ello es frecuente la utilización, como medio propulsor del agente (por ejemplo nitrógeno).

Un agente a presión muy elevada e, incluso, de detonadores cuyas explosiones auxiliares impulsan la dispersión. El agente supresor puede ser líquido (hidrocarburos halogenados) o polvo sólido (fosfato amónico). Es fácil comprender que el diseño, la instalación, el mantenimiento y la operación de estos sistemas sea muy delicada y deba hacerse con el apoyo de personal capacitado. Son típicas las aplicaciones de los sistemas supresores de explosiones deflagrantes en los casos siguientes:

- Equipo para proceso: reactores, mezcladores, pulverizadores, molinos, secadores, hornos, filtros, tamizadores, separadores de polvo, etc.
 - Equipo para el transporte de sólidos: neumático, de cangilones, de tornillo, de cinta, etc.
 - Equipo para el almacenamiento: tanques, silo, etc.
- Venteo de Explosiones: en el supuesto que la prevención y la supresión no hayan podido evitar el desarrollo de la deflagración y que el recinto no la pueda resistir, cabe la posibilidad aún de aliviar la variación destructiva mediante sistemas de venteo especiales.

- Ello será posible siempre que no se alcancen las condiciones detonantes, debido al agotamiento (por falta de reactantes), de la deflagración. También cabe aducir a favor de estos sistemas especiales de venteo, demostrado por la experiencia, de que la mayoría de las explosiones suelen ser de ámbito localizado y en condiciones alejadas de las óptimas (mejor pésimas) para que tenga lugar la explosión máxima posible (concentraciones, recinto completamente lleno de mezcla explosiva, etc.).

No está de más mencionar que los medios más eficaces de venteo están en disponer, cuando sea posible, el equipo fuente de peligro al aire libre, bajo cubierta si paredes o en edificios de construcción muy ligera.

3.2.5. Funciones

A continuación se definen particularidades del comité de acción.

3.2.5.1. Formación del Comité de Acción

La gestión de seguridad incluida en el plan debe ser incluyente, es decir, debe estar formada por todos los niveles jerárquicos y laborales, por esta razón se propone la formación del comité, partiendo de la siguiente forma:

3.2.5.1.1. ¿Quiénes deben integrar el comité?

- Gerente de planta.
- Jefe de ingeniería.
- Jefe de proceso.

- Monitor o coordinador, en calidad de representante de la Gerencia.
- Representante de supervisores.
- Representante de personal operativo.
- Representante de personal administrativo.

Al momento de determinar el número de integrantes del comité, es importante tener en cuenta el número de trabajadores, la complejidad de la planta física y el área en que está situada.

3.2.5.1.2. ¿Cuál es la misión del comité?

La misión del comité es coordinar a toda la comunidad trabajadora, operativa y administrativa, con sus respectivos estamentos, a fin de ir logrando una activa y masiva participación en un proceso que les compromete a todos, puesto que apunta a su mayor seguridad y por ende, a su mejor calidad de vida.

3.2.5.1.3. ¿Cuáles son las responsabilidades y funciones de los integrantes del comité?

- El gerente de planta: responsable definitivo de la seguridad de la planta, preside y apoya al comité y sus acciones.
- Jefes de ingeniería y proceso: según el potencial de cada una de las áreas que presiden, deberán apoyar dentro del comité el análisis y puesta en marcha de mejora continuas en materia de seguridad en beneficio de la planta, es decir, que si se acuerda mejorar las instalaciones eléctricas, el ingeniero de área podrá apoyar para minimizar los gastos o si se usan actividades inherentes.

- El monitor o coordinador: en representación de la gerencia, coordinará todas y cada una de las actividades que efectúe el comité.

La coordinación permite un trabajo armónico en función del objetivo común: seguridad. Además el coordinador deberá, precisamente, lograr que los integrantes del comité actúen con pleno acuerdo, para aprovechar al máximo las potencialidades y recursos. Para ello, deberá valerse de mecanismos efectivos de comunicación, como son las reuniones periódicas y mantener al día los registros, documentos y actas que genere el comité.

Además deberá tener permanente contacto oficial con las instalaciones de bomberos, a fin de ir recurriendo a su apoyo especializado en acciones de prevención, educación, preparación y atención en caso de ocurrir una emergencia.

- Representantes de supervisores, personal operativo y administrativo: deberán aportar su visión desde sus correspondientes roles en relación a la planta; cumplir con las acciones y tareas que acuerde el comité y comunicar, la labor general en materia de seguridad.

3.2.5.1.4. ¿Cómo cumple su misión el comité?

A través de tres línea fundamentales de acción:

- Recabando información detallada y actualizándola permanentemente.
- Diseñando, ejercitando y actualizando continuamente el plan de acción de la planta.

- Diseñando y ejecutando programas concretos de trabajo permanente que proyecten su accionar a toda la comunidad de la planta.

3.2.6. Plan de acción

Las condiciones a considerar para la ejecución adecuada del plan de acción es la siguiente:

3.2.6.1. Implementación del plan

El plan general de contingencia es el plan estipulado y desarrollado para la planta, regirá todos los protocolos a seguir antes, durante y después de alguna emergencia que ocurra dentro de las instalaciones de desarrollo del proceso de la planta en horarios hábiles, sin embargo para que este plan sea funcional, es preciso que sea del conocimiento de todos los empleados: gerente general, gerencia de planta, jefe de ingeniería, jefe de proceso, personal administrativo y personal de operación, es por ello que a continuación se propone la forma en que éste podría ser atendido por todos los trabajadores que integran la planta.

Para la información y divulgación del Plan de Contingencia de la planta químico-industrial Quimoalcali, se propone los siguientes pasos:

- Impresión del plan: se solicitará a la gerencia general y a la gerencia de planta, que a través del departamento administrativo se realice la impresión del plan de contingencia para entregarlo a todas las personas que forman parte de la estructura funcional de la planta: gerentes, supervisores, personal operativo y administrativo.

- Elaboración de afiches informativos: también se considera necesaria la elaboración de afiches que recuerden a las personas que son parte de la planta a cada momento y en todo lugar que se encuentra en un área segura donde deberán seguir normas de seguridad previamente establecidas.
- Implementación del plan: a manera de involucrar a los gerentes, supervisores, etc., se hace necesario crear un estudio del plan de acción.

Para que este plan de acción en tiempos planificados encuentre adiestrar como primera parte a los nuevos trabajadores, que por primera vez tienen contacto en un proceso tan delicado, como son los químicos.

4. FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

4.1. Métodos de Capacitación

En el plan de contingencia deben contemplarse los programas de capacitación y entrenamiento. Estos programas deben realizarse a diferentes niveles de dificultad, tal como:

- Capacitación: teórica e individual
- Entrenamiento: de procedimientos y simulacros que involucran a los miembros de organización y las instituciones de coordinación y colaboración.

Los empleados también en tareas simples, como, por ejemplo, desconectar las fuente de poder y usar los extintores de incendio, así como también en programas de búsqueda y rescate o respuestas a emergencias.

4.1.1. Objetivos

Normalmente se debe formular objetivos generales de capacitación, éstos se deben determinar previo a resultados de una evaluación.

Es importante que los objetivos resalten las habilidades que los empleados deben adquirir al final de la capacitación. En los objetivos de la capacitación deben incluirse:

- La concentración del personal de la planta sobre la importancia de trabajo en equipo.
- La prestación de servicios de alta calidad, con el fin de satisfacer las necesidades eventuales en un siniestro.

Los objetivos de capacitación deben orientar en la selección de:

- El contenido de la capacitación (el tema que se cubrirá)
- El enfoque de la capacitación (¿Cómo se desarrollarán los temas?) o mediante clases o ejercicios de participación, etc.

El objetivo principal de la capacitación, es que todos los trabajadores de la planta comprendan: de qué se trata un plan de contingencia, que estén concientizados sobre el entrenamiento y la forma de actuar ante una eventualidad de riesgo, para mantener la seguridad en el proceso de la planta.

4.1.2. Tipos de Métodos

Para facilitar el aprendizaje, es necesario contar con los métodos de capacitación adecuados, tomando en cuenta la cantidad de trabajadores que recibirán la capacitación y el adiestramiento; existen varios métodos que pueden aplicarse para transmitir la información necesaria para dar a conocer el plan de acción ante emergencias y la forma de actuar ante accidentes dentro de la planta.

A continuación se mencionan algunos métodos de capacitación, que pueden ser usados para la fase de enseñanza:

Conferencia: representa un método de aprendizaje dinámico, que requiere de la participación de los trabajadores (personal a capacitar). Para que éste método sea eficaz, es necesario cumplir con dos requisitos previos:

- Poseer la información completa del tema y planear lo que se desea transmitir.
- Fomentar las condiciones favorables ambientales para llegar al objetivo deseado.

La conferencia es útil cuando se desea presentar datos, información u opiniones de manera organizada. Dentro de las ventajas de éste método de capacitación, es que puede desarrollarse a bajo costo, es de fácil administración y permite incluir y emplear apoyos de capacitación como: pizarras, retro proyectores, equipo audiovisual, etc.

Las conferencias, serán cuando se tiene un gran número de personas que necesitan capacitación en determinada competencia y que tienen poca disponibilidad de tiempo; es importante recordar que para que éste método, tenga el éxito deseado, se debe tener toda la información que se desea transmitir y exponerla de una forma clara y ordenada, para facilitar la comprensión de los trabajadores.

Demostraciones: este tipo de capacitación, es muy útil para los trabajadores a nivel operativo, es utilizada cuando se desea orientar al personal al manejo de herramientas o cualquier equipo en contacto con los trabajadores, así también se utiliza para dar a conocer las técnicas para el mantenimiento de los mismos.

La importancia de las demostraciones, es en que permiten mostrar con acciones la forma en que deben realizarse ciertas tareas, por lo que, de existir dudas sobre la realización de éstas, pueden ser aclaradas con demostraciones.

Círculos de Calidad: son grupos de trabajo conformados por ocho o diez empleados y supervisores de un departamento que realizan tareas similares, que se reúnen en forma voluntaria con regularidad en horas de trabajo, para identificar las causas de los problemas de sus trabajos y proponer soluciones a la gerencia.

Para establecer los círculos de calidad dentro de la empresa, se eligen representantes de las áreas de trabajo que existan dentro de un departamento y un supervisor de la misma. Los beneficios más importantes de los círculos de calidad son: aumentar el auto estima de los trabajadores, contribuir a la disminución de la resistencia al cambio, fomentar la comprensión, el respeto entre trabajadores y supervisores e inculcar al trabajador una mayor comprensión de la importancia de las competencias en el trabajo.

Simulacros: un simulacro, es un ejercicio de ejecución de acciones previamente planeadas, para enfrentar a una respuesta de emergencia o un desastre. Es un importante recurso en todo el ciclo de prevención de desastres (prevención, mitigación, preparación y atención). Un simulacro implica el montaje de un escenario de terreno específico, basado en datos confiables de probabilidad respecto al riesgo y vulnerabilidad de los sistemas afectados.

Es importante comprender que un simulacro, es una actividad de ejecución de un plan estratégico, en el cual se han estipulado disposición y acciones como respuestas concretas a posibles situaciones que pueden presentarse durante una emergencia. Estas disposiciones y acciones son

producto de un estudio serio y detallado de la realidad que se está tratando (riesgo, recursos, etc.) y con base a esa realidad se define lo que la lógica y la técnica determinan como la mejor respuesta a la hipótesis (problemas) a enfrentar.

Aunque es una acción basada en un hecho supuesto, es necesario que sea planeado y organizado; cuidadosamente, empleando información válida de acuerdo con el momento y la realidad y con proyecciones bien calculadas sobre situaciones posibles de suceder en el futuro. Se desea que el escenario donde se va a ejecutar el simulacro, sea lo más real y auténtico posible, que la hipótesis que se trabaje y los problemas que se van a resolver sean producto de riesgos existentes y que tengan consonancia con los recursos humanos y materiales de que realmente se dispone.

Los participantes del simulacro son, además del personal de la planta, las instituciones, especialistas y personas que en emergencia prestan ayuda. El simulacro sirve para probar la capacidad de ejecución de la respuesta estudiada, preparada previamente por los participantes responsables de enfrentar una emergencia o desastre. Además, permite observar cómo se interpretó y ejecutó el Plan de Acción previsto, y si está bien elaborado, por lo que el simulacro es un medio para evaluar (identificando aciertos y errores) y realizar a tiempo las acciones correctivas pertinentes.

4.2. Entrenamiento

El entrenamiento también debe cubrir las Hojas de Datos de Seguridad de los Materiales, los procedimientos de elaboración de informes de emergencia, las operaciones con desechos peligrosos y los equipos especializados.

Los gerentes, en todos los niveles, deben ser entrenados con relación a los elementos del programa, de modo que puedan servir efectivamente como enlace con las agencias corporativas, reglamentadas y locales. Este personal debe comprender lo que trata el entrenamiento de los trabajadores y la forma como el plan define y asigna las responsabilidades. El gerente general de alto nivel, sirve como una agencia de aprobación del plan y debe ser incluido en este proceso.

Un entrenamiento debe completarse, siempre basándose en material gráfico (normas, folletos, esquemas, etc.) con los siguientes elementos:

- Cursillos:
 - Operaciones
 - Seguridad general
 - Defensa contra incendios
 - Primeros auxilios
 - Planes de emergencia
 - Mantenimiento, etc.

- Entrenamiento práctico
 - Ejercicios de extinción con fuego real
 - Simulacros de emergencia
 - Simulacros de primeros auxilios, etc

4.2.1. Frecuencia de realización de los simulacros

Se realizan de acuerdo a los requerimientos de la planta, éstos están relacionados con el análisis de riesgos. El tiempo entre uno y otro varía según el nivel de riesgo de la planta y el nivel de riesgo del simulacro en sí.

- Simulacro de alto riesgo. Se realiza una cada mes.
- Simulacro de mediano riesgo. Se realiza uno cada tres meses.
- Simulacro de bajo riesgo. Se realiza uno cada seis meses.

El seguimiento que hay a los simulacros y simulaciones, es parte del mantenimiento del plan. El seguimiento se realiza basado en los resultados de la evaluación del simulacro, realizando los cambios que sean necesarios o que se acomoden al contexto de la planta, para mantener actualizado y vigente el plan.

4.2.2. Mantenimiento revisión y actualización del plan de acción

El plan debe ser reevaluado y actualizado lo más frecuentemente posible, además de enriquecerse con las experiencias adquiridas a lo largo del tiempo, tanto durante las ocurrencias reales, como durante la capacitación (simulaciones y simulacros).

Es necesario darle mantenimiento a todas las secciones del Plan. Este mantenimiento incluye:

- Revisión
- Sistemas de actualización de la información
- Registro de los casos atendidos
- Reevaluación periódica de los procedimientos
- Reemplazo y renovación de recursos
- Análisis económico

Después de la etapa de implementación, el Plan de Contingencia se debe actualizar y revisar periódicamente, por lo menos una vez al año.

CONCLUSIONES

1. En la instalación de una subestación eléctrica con nivel de tensión 69/13.8 kv, los equipos eléctricos que se instalan siempre se seleccionan de acuerdo a la normativa vigente (publicación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE).
2. Hay que tener sólidos conocimientos teóricos y prácticos para el montaje de subestaciones eléctricas, considerando su nivel de tensión, especialmente con las de 13.8 kv/480 voltios, para no cometer errores en la selección de equipos de operación, maniobra y protección.
3. Todo personal que diseña y construye redes de distribución eléctrica, debe conocer los tipos de accesorios y herramientas que se utilizan.
4. Un transformador rectificador se puede energizar cuando a superado las pruebas eléctricas básicas, las pruebas electrónicas y de protección al rectificador.
5. Para el montaje eléctrico y químico de electrolizadores siempre deben usarse documentos normativos de corriente alterna y directa.
6. Para armar e instalar electrolizadores en una planta cloro sosa, es sumamente importante el sellado entre el ánodo, cátodo y la membrana para evitar fugas.

7. Los principales pasos para elaborar un plan de contingencia en caso de emergencias para una planta químico-industrial son: identificar los riesgos de la planta que podrían presentarse en situaciones de emergencia; definir la estructura administrativa; definir los recursos materiales con los que se enfrentará la emergencia; determinar las operaciones de acción y reacción, e implementar y verificar la eficacia de lo planificado mediante la revisión y evaluación continua del mismo.

8. Todos los procedimientos de acción y reacción se planifican dentro del patrón de respuesta a emergencia (reconocimiento, evaluación, control, información y seguridad).

RECOMENDACIONES

1. Debe establecerse un período de consulta de documentos normativos publicados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), sobre los requerimientos técnicos eléctricos utilizados en la construcción de subestaciones eléctricas con nivel de tensión de 69/13.8 kv.
2. Se debe fomentar visitas técnicas a empresas que realizan montaje de subestaciones eléctricas y redes de distribución eléctrica; con el objeto de reforzar la teoría y la práctica sobre la construcción de las mismas.
3. Promover la consulta de material de apoyo sobre el funcionamiento de un transformador rectificador, con la finalidad de comprender la operación y maniobra del mismo, en la aplicación del proceso de electrólisis.
4. Se debe instruir a los operarios de la planta para que en el momento del arranque de la misma, se desarrolle la metodología establecida para garantizar que los sistemas de seguridad, control y protección sean activados.
5. Promover la consulta de material de apoyo sobre conceptos básicos de Química, con la finalidad de comprender las definiciones, reacciones eléctricas y químicas en los electrolizadores, lugar donde se desarrolla el proceso de electrólisis.

6. Debe tenerse claro que los planes de contingencia en caso de emergencias, no representan un programa completo de seguridad industrial para la planta, sino más bien éstos son parte complementaria de dichos programas. Es por eso, que los planes de contingencia no exoneran a la planta de implementar el respectivo programa de seguridad.

7. Se debe capacitar al personal administrativo y operativo de una planta de procesos químicos, que el desarrollo de planes de emergencia es en base a códigos y normas.

BIBLIOGRAFIA

1. CHECA, Luis María. *Líneas de transporte de energía*. 3a ed. Barcelona: Marcombo, 2004, 620 p.
2. DEGÁ GELABERT, Pedro; et al. *Transformadores Convertidores*. 1a ed., Enciclopedia CEAC Electricidad. España: CEAC,1974. 925 p.
3. DÍAZ, Pablo. *Soluciones prácticas para la puesta a tierra de sistemas eléctricos de distribución*. 2a ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2001. 324 p.
4. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. 2a ed. México: Limusa, 2005, 626 p.
5. ————. *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. 2a ed. México: Limusa, 2005, 509 p.
6. FINK, Donald; WAYNE, Beaty. *Manual de ingeniería eléctrica*. 13a ed. México: McGraw-Hill, 2002. 2vols.
7. MARTÍN, José Raúl. *Diseño de subestaciones eléctricas*. 2a ed., México: McGraw-Hill, 1990. 510 p.
8. RAMÍREZ VÁSQUEZ, José. *Estaciones de transformación y distribución, protección de sistemas eléctricos*. 2a ed. colección Ceac. España: CEAC, 1974. 1111 p.

9. STORCH DE GRACIA, Jose. María.. *Manual de seguridad industrial*. 2a ed. Madrid: McGraw-Hill, 1998. 2 vols.